ESTUDO TÉCNICO

Concreto Rolado: Aplicações em Pavimentação

ET-10

Associação Brasileira de Cimento Portland

Associação Brasileira de Cimento Portland

CONCRETO ROLADO: APLICAÇÕES EM PAVIMENTAÇÃO

por

Márcio Rocha Pitta
Engenheiro Civil

São Paulo
agosto de 1998
(mudanças no aspecto gráfico)

Revisão: 7

1ª edição - 1977
2ª edição - 1980
3ª edição - 1982
4ª edição - 1984
5ª edição - 1987
6ª edição - 1989
7ª edição - 1998 (mudanças no aspecto gráfico)

PITTA, Márcio Rocha
Concreto rolado: aplicações em pavimentação. 7.ed.
São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.
32p. (ET-10).

Concreto pobre: Bases rodoviárias
Pavimentos de concreto

CDD 625.84

Proibida a reprodução total ou parcial.
Todos os direitos reservados à
Associação Brasileira de Cimento Portland
Avenida Torres de Oliveira, 76 - Jaguaré
CEP 05347-902 São Paulo/SP
Fone: (55-011) 3760-5300 - Fax: (55-011) 3760-5400

PITTA, Márcio Rocha. *Concreto rolado; aplicações em pavimentação.* 7.ed. São Paulo, ABCP, 1998. 32p. (ET-10).

Conceitua-se o CONCRETO ROLADO, do ponto de vista do aproveitamento de suas características na pavimentação. Aliando-se esse conhecimento às informações advindas das experiências inglesa, americana e brasileira — tanto em pesquisas de laboratório, quanto em obras de estradas, ruas e aeroportos — procura-se fornecer meios de tratar convenientemente o material, desde as especificações de seus componentes até o controle tecnológico da execução, passando pelas misturas experimentais para fixar o traço adequado, pelo dimensionamento dos pavimentos que o contenham e pelas operações de execução e de controle de qualidade da camada.

A bibliografia consultada acha-se listada no final da publicação, referindo-se a ela no texto os números pequenos sobrescritos.

Palavras-chave: Concreto pobre - Bases rodoviárias; Pavimentos de concreto.

LISTA DAS FIGURAS

n.	*Título*	*p.*
1	*Faixas granulométricas recomendadas para camadas de concreto rolado, com diâmetros máximos de 19 mm e 38 mm*	*11*
2	*Faixa granulométrica da camada de concreto rolado empregada no Aeroporto de Viracopos (SP) (Fonte: S.E. da IV Zona Aérea)*	*11*
3	*Faixa especificada e curva granulométrica do agregado total para o concreto rolado da sub-base da Rodovia SP-55, trecho Cubatão-Pedro Taques (SP)*	*12*
4	*Faixa especificada e curva granulométrica do agregado total para o concreto rolado da sub-base da Rodovia SC-438, trecho Guatá-Alto da Serra (SC)*	*13*
5	*Curvas típicas mostrando a influência do conteúdo total de água na mistura em relação à massa específica aparente seca máxima e à máxima resistência à compressão, aos 28 dias (cilindros de 15 cm x 30 cm) (Cf.Ref. 1 e relatórios de dosagem emitidos pelo Departamento de Concreto da ABCP)*	*15*
6	*Resultados de ensaios realizados no Estado da Georgia (EUA) com diversas misturas de econocreto (Cf.Ref. 4)*	*16*
7	*Conversão aproximada da relação agregado/cimento para conteúdo de cimento em kg/m³ (mistura com um teor de 6% de água, em massa, e compactação na energia normal)*	*17*
8	*Relação entre resistência à compressão simples aos 28 dias e relação água/cimento, para corpos-de-prova de concreto rolado plenamente compactados*	*18*
9	*Aumento de k devido à presença de sub-base de concreto rolado (Conforme ABCP)*	*22*
10	*Espalhamento manual*	*24*
11	*Espalhamento com motoniveladora*	*24*

12 Espalhamento com distribuidora comum de agregados 24

13 Espalhamento com vibro-acabadora de asfalto 24

14 Procedimento de compactação. Rolo liso vibratório de pequeno porte 25

15 Procedimento de compactação. Rolo liso vibratório de grande porte 25

16 Procedimento de compactação. Rolo liso vibratório aplicado sem vibração 26

17 Processo mais usado de cura. Pintura com emulsão betuminosa ou asfalto recortado 26

18 Colocação de sacaria 27

19 Colocação de plástico 27

20 Aspersão de água 27

21 Fatores de correção a serem aplicados à resistência à compressão obtida no ensaio, para várias relações entre as massas específicas aparentes secas obtidas na moldagem dos corpos-de-prova e no ensaio de compactação 30

SUMÁRIO

RESUMO

LISTA DAS FIGURAS

1 INTRODUÇÃO 9

2 MATERIAIS 10
2.1 Cimento Portland 10
2.2 Agregados 10
2.3 Água 14

3 DOSAGEM 14
3.1 Conteúdo d'Água 14
3.2 Consumo de Cimento 17
3.3 Resistências à Compressão Simples e à Tração na Flexão 18

4 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO 19
4.1 Componente de Pavimento Semi-Flexível 20
4.2 Sub-base de Pavimento de Concreto Simples 21
4.3 Camada Inferior de Pavimento de Concreto Composto 23

5 EXECUÇÃO DO PAVIMENTO 23
5.1 Proporcionamento e Mistura dos Materiais 23
5.2 Espalhamento do Concreto 23
5.3 Compactação 25
5.4 Cura 26
5.5 Entrega ao Tráfego 28

6 CONTROLE DE EXECUÇÃO 28
6.1 Granulometria 28
6.2 Compactação 28
6.3 Espessura 29
6.4 Resistência Mecânica 29

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 31

1 INTRODUÇÃO

O concreto rolado, comumente também chamado de concreto pobre ou magro, é um concreto seco, de consistência dura e de trabalhabilidade tal que permita sua compactação por rolos compressores ou equipamento semelhante, em vez de ser empregadas réguas vibratórias ou vibradores de imersão, e que contém um teor de cimento muito menor do que o usual nos concretos normalmente empregados em pavimentação. É possível localizá-lo entre o solo-cimento e o concreto simples de pavimentação, tendo em vista as suas propriedades específicas: por exemplo, alcança resistência média à tração na flexão aos 28 dias por volta de 2 a 4 vezes maior do que a do solo-cimento, e, aproximadamente, 2 vezes menor do que a mesma resistência no concreto comum de pavimentos.

As camadas contínuas desse concreto são consideradas ora como semi-flexíveis, ora como rígidas ou semi-rígidas, de acordo com o teor de cimento, a resistência mecânica e o módulo de elasticidade da mistura endurecida. É usual classificar como *semi-flexível* a camada que tiver uma proporção cimento:agregado da ordem de 1:22 ou 1:24 (em massa) ou maior, e como *rígida ou semi-rígida* a que for constituída de mistura mais rica do que 1:18. A maioria dos atuais concretos rolados fica na faixa de 1:12 a 1:24; misturas mais ricas podem apresentar graves ocorrências de fissuras e trincas, enquanto que consumos menores de cimento levam, na maioria dos casos, à heterogeneidade da mistura do cimento com o agregado, criando pontos fracos na camada.

Modernamente, a experiência com o material nesse tipo de aplicação é oriunda da Grã-Bretanha, iniciada por volta de 1944 e que se cristalizou nos experimentos de *CRAWLEY, SURREY, LEISCESTER, NORTH WALLES* e *BRACKNELL,* sendo dignas de nota particular as estradas de Crawley (70 km) e a Londres-Birmingham (100 km)[1, 2]. No entanto, a primeira notícia histórica do uso de um material semelhante ao atual concreto rolado vem da época de construção do mais antigo pavimento de concreto que se conhece (hoje, Monumento Histórico Nacional), na cidade de Bellefontaine (Ohio), nos EUA, datado de 1893 — nele, um pavimento composto, a camada inferior era de concreto com baixo consumo relativo de cimento e compactado por compressão.

Outras experiências dignas de menção: a de Grand Forks (1910, Dakota do Norte, EUA, ruas); estado da Flórida (1950, EUA, pista experimental na construção da rodovia US 441, com calcário); diversos casos de rodovias no Texas, Carolina do Sul e outros estados americanos, na década dos 50; no Brasil: Porto Alegre/RS (ruas, desde 1972, como base de pavimentos revestidos com asfálticos); Pelotas/RS (ruas, vários tipos de aplicação); Salvador/BA (ruas, aplicações diversas); Santa Catarina (como sub-base do pavimento de concreto simples da SC-438, estrada da Serra do Rio do Rastro, pelo DER/SC); São Paulo (também como sub-base do pavimento de concreto simples da duplicação da SP-55, trecho Cubatão-Pedro Taques, pela DERSA); e inúmeras outras pequenas aplicações em vias urbanas e em sistemas viários de indústrias.

Nos últimos anos, diversos estados americanos desenvolveram técnica similar à do concreto rolado, chamando-o de *econocrete*(*). Algumas referências descrevem o material, sua tecnologia e aplicações[3, 4]. A presente publicação informa, também, sobre essas experiências. Dá-se ênfase, ainda, às utilizações que o concreto rolado vem tendo no nosso meio, principalmente no meio urbano, como base e revestimento, como base revestida e como sub-base de pavimentos de concreto.

2 MATERIAIS

2.1 Cimento Portland

O cimento empregado deverá obedecer à NBR 5732 (anteriormente, EB-1), para cimento portland comum; ou à NBR 5733 (EB-2), para cimento de alta resistência inicial; ou à NBR 5735 (EB-208), para cimento portland de alto-forno; ou à NBR 5736 (EB-758), para cimento portland pozolânico, podendo ser usados outros tipos de cimento portland, que devem, de qualquer modo, enquadrar-se nos requisitos mínimos da NBR 5732 (EB-1).

2.2 Agregados

Usam-se, de modo geral, quaisquer britas ou pedregulhos, desde que respondam aos requisitos necessários quanto à granulometria e à dureza, bem como à ausência de matéria orgânica nociva e de argila.

É recomendável, quanto à granulometria, utilizar agregados com dimensão máxima característica de 38 mm, ou menor. Apesar de não haver grandes objeções ao uso de agregados de tamanho acima do citado, tem-se notado dificuldade na obtenção da compactação e da necessária regularidade da superfície quando o tamanho do agregado supera 38 mm. É muito comum e em geral vantajoso empregar agregado de tamanho máximo igual a 19 mm.

O agregado miúdo — material passando na malha ABNT nº 4 — é, geralmente, areia natural e pedrisco (brita 0). Deve ser bem graduado, sem deficiência de finos. O teor de areia é fixado por tentativa, antes do início da obra. Caso a mistura tenda a desagregar-se, ou não se consiga boa selagem da superfície da camada pronta, é indício seguro de falta de material fino; sua proporção deve ser, então, aumentada.

A *Figura 1* mostra faixas granulométricas recomendadas para concreto rolado, com agregados portando dimensões máximas características de 19 mm e 38 mm. A *Figura 2* é a pintura gráfica da faixa granulométrica utilizável empregada no aeroporto de Viracopos (SP), como camada de sub-base do pavimento de concreto; na mesma aplicação, tem-se nas *Figuras 3 e 4* as faixas usadas na SP-55 e na SC-438.

(*) Em português, parece adequado o neologismo *econocreto*, que esta publicação usará.

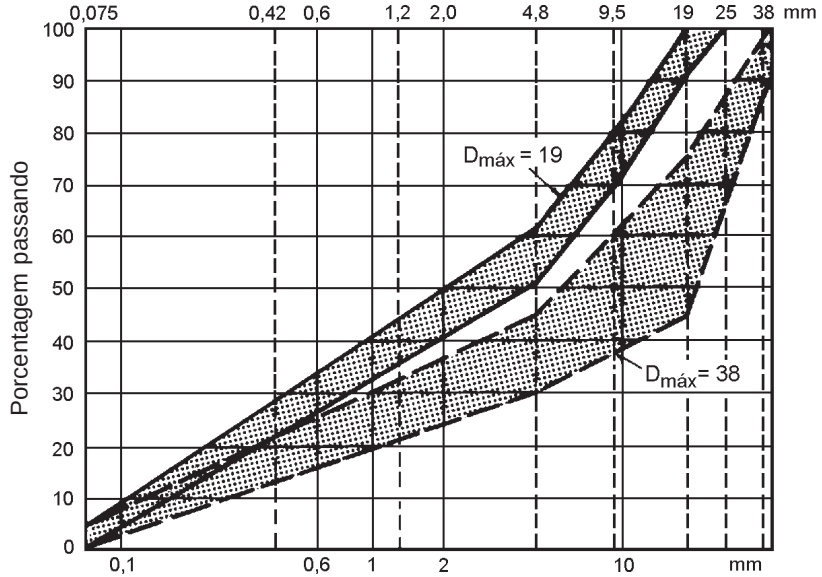


FIGURA 1 - Faixas granulométricas recomendadas para camadas de concreto rolado, com diâmetros máximos de 19 mm e 38 mm

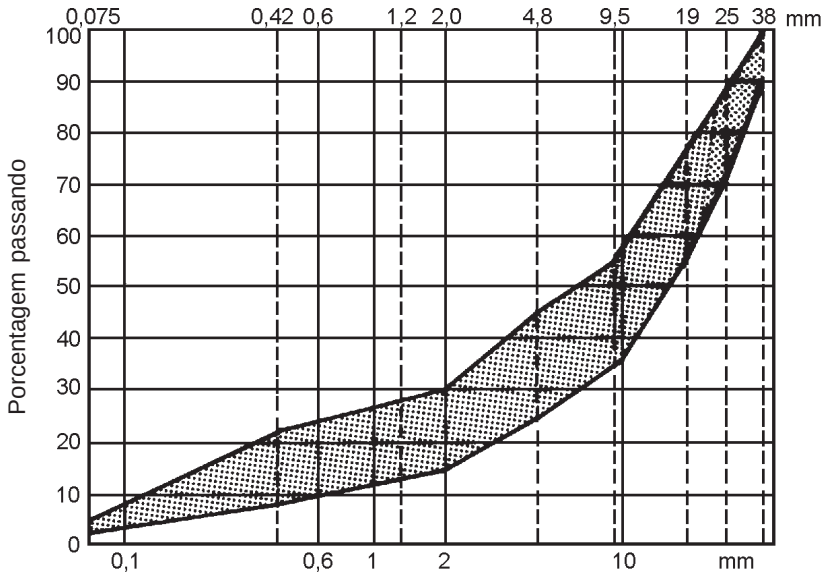


FIGURA 2 - Faixa granulométrica da camada de concreto rolado empregada no Aeroporto de Viracopos (SP) (Fonte: S.E. da IV Zona Aérea)

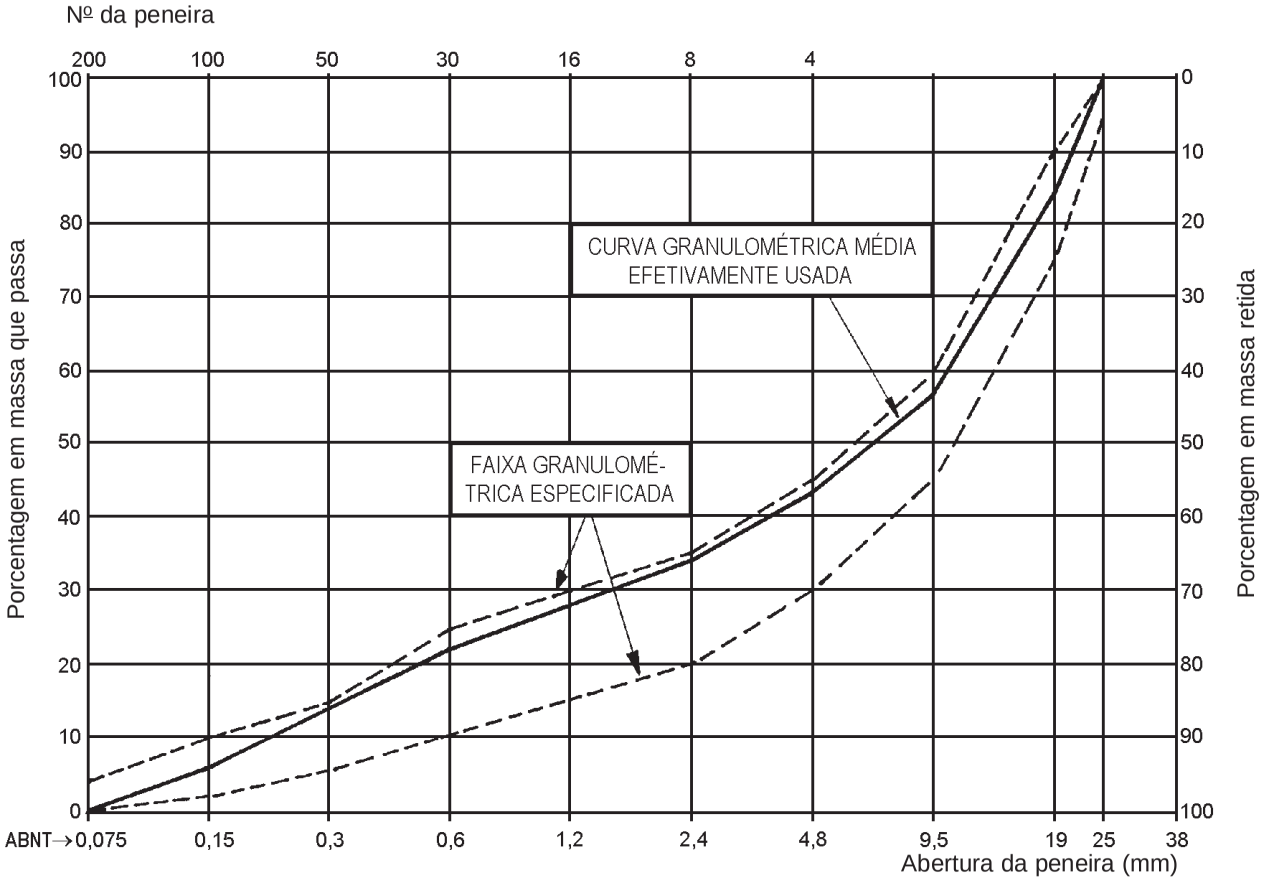


FIGURA 3 - Faixa especificada e curva granulométrica do agregado total para o concreto rolado da sub-base da Rodovia SP-55, trecho Cubatão-Pedro Taques (SP)

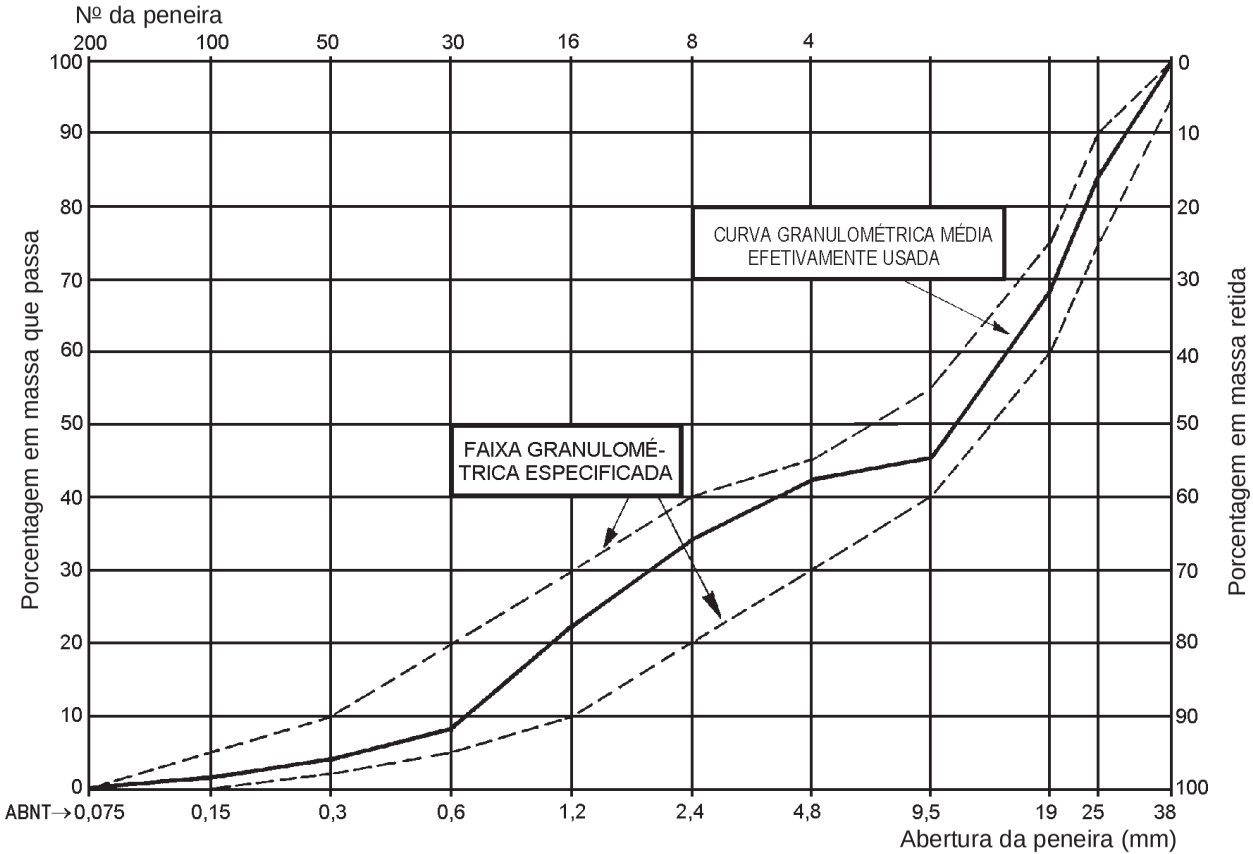


FIGURA 4 - Faixa especificada e curva granulométrica do agregado total para o concreto rolado da sub-base da Rodovia SC-438, trecho Guatá-Alto da Serra (SC)

Uma condição peculiar ao econocreto é a inexistência de faixas granulométricas rígidas, podendo-se utilizar materiais locais, que não precisam, necessariamente, obedecer aos padrões de qualidade normalmente exigidos para agregados empregados em pavimentos. O principal motivo para essa liberalidade é o elevadíssimo consumo de areia, brita e pedregulho em obras viárias nos EUA (1 bilhão de toneladas em 1975), o que produziu, em certas regiões, escassez de materiais de boa qualidade e degradação ambiental, vindo daí a necessidade de permitir-se praticamente qualquer tipo de agregado, além de possibilitar-se a reutilização (ou *reciclagem*) dos materiais beneficiados de antigos pavimentos na construção de novos.

2.3 Água

Exige-se que seja isenta de substâncias prejudiciais à hidratação do cimento. Pressupõem-se adequadas as águas potáveis.

3 DOSAGEM

3.1 Conteúdo d'Água

O concreto rolado deve conter uma quantidade de água que lhe confira uma trabalhabilidade adequada à sua compactação por rolos compressores. A fixação dessa quantidade tem sido feita por meio de um ensaio de compactação, similar ao empregado pela tecnologia de solos e de solo-cimento. A experiência mostra que, para compactação por rolos, o conteúdo ótimo de umidade no concreto rolado está perto de 6% em relação à massa dos materiais secos.

Foram feitas misturas experimentais, na Inglaterra[5], variando o conteúdo de cimento de 90 kg/m^3 (1:24) a 340 kg/m^3 (1:6), que demonstraram ser esse valor de conteúdo de umidade o mais indicado, em geral. A *Figura 5* mostra resultados dessa pesquisa, relacionando o conteúdo de água com a massa específica aparente seca e a resistência à compressão simples a 28 dias, junto com resultados obtidos no Departamento de Concreto da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) com materiais da Baixada Santista (SP).

Em diversas regiões americanas, o econocreto tem recebido teores de água muito variáveis, desde pouco menos de 5% (em Illinois) até pouco mais de 10% (na Georgia), dependendo do tipo de agregado graúdo e da resistência desejada, principalmente. *A Figura 6* ilustra as pesquisas feitas, por exemplo, no estado da Georgia[4], para teores de água (em massa) entre 9,7% e 11,1% e consumos de cimento entre 135 kg/m^3 e 225 kg/m^3, para relações cimento:agregados (em massa) entre 1:7 e 1:16,5, com a relação água/cimento variando de 0,88 a 1,65.

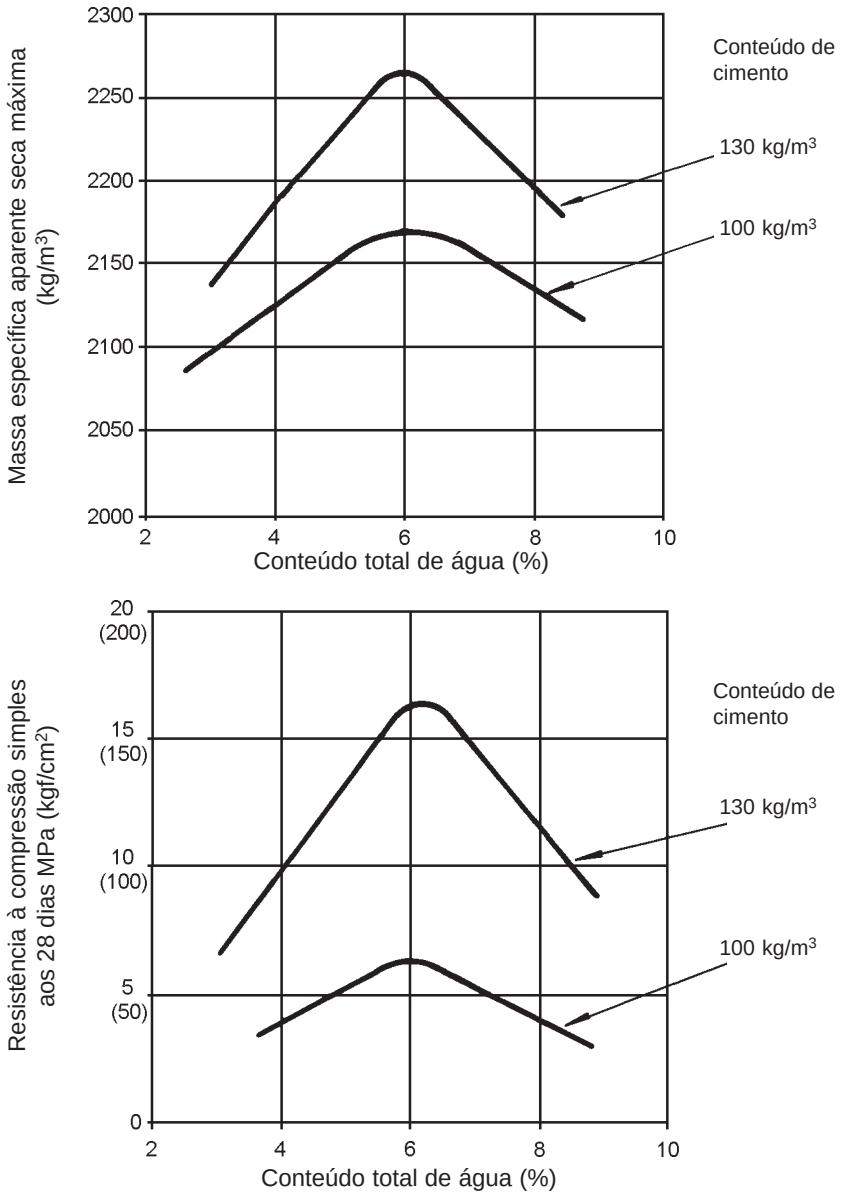
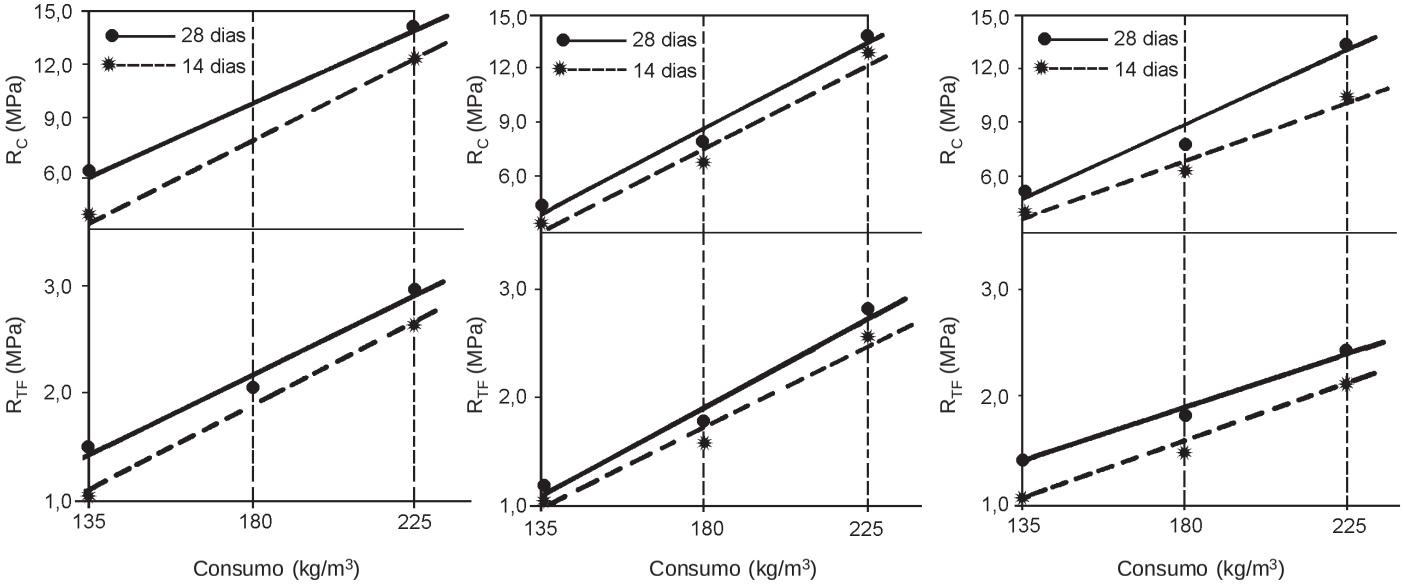


FIGURA 5 - Curvas típicas mostrando a influência do conteúdo total de água na mistura em relação à massa específica aparente seca máxima e à máxima resistência à compressão, aos 28 dias (cilindros de 15 cm x 30 cm) (Cf.Ref. 1 e relatórios de dosagem emitidos pelo Departamento de Concreto da ABCP)



Fonte: Martin Marietta

Fonte: Vulcan Materiais

Fonte: Dime Lime & Stone

FIGURA 6 - Resultados de ensaios realizados no Estado da Georgia (EUA) com diversas misturas de econocreto (Cf.Ref. 4)

Recomenda-se usar um teor inicial de água de 6% em massa, na maior parte dos casos. Quando o agregado tiver uma absorção anormalmente grande, ou contiver finos plásticos — o que é totalmente contra-indicado — é necessário orientar as misturas experimentais para uma quantidade maior de água.

3.2 Consumo de Cimento

As misturas mais fracas do que 1:24 apresentam dois inconvenientes principais: dificuldade de realização de mistura homogênea e comprometimento da durabilidade do material.

O econocreto, por sua vez, é um produto em geral mais rico de cimento[3, 4]. Os teores ficam entre 135 kg/m^3 e 290 kg/m^3 (1:15 até 1:7); os conteúdos de cimento típicos para base atingem 150 kg/m^3 (1:13) e 180 kg/m^3 (1:11), ou mais, ainda.

A *Figura 7* permite converter conteúdo de cimento em relação cimento:agregado (e vice-versa), em função da massa específica real do agregado.

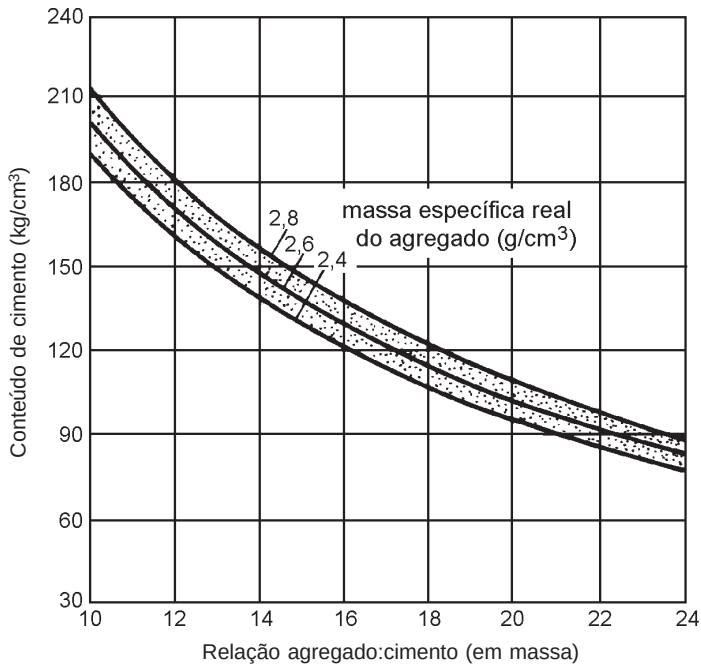


FIGURA 7 - Conversão aproximada da relação agregado/cimento para conteúdo de cimento em kg/m^3 (mistura com um teor de 6% de água, em massa, e compactação na energia normal)

3.3 Resistências à Compressão Simples e à Tração na Flexão

De forma análoga ao que acontece nos concretos, há uma direta ligação entre a relação água/cimento e as resistências à compressão e à tração do concreto rolado, que depende, sobretudo, do grau de compactação obtido nos corpos-de-prova e do tipo de agregado; é possível estabelecê-la para os diversos tipos de agregado, fixando-se o conteúdo total de água e fazendo-se variar o conteúdo de cimento — em conseqüência, variando a relação água/cimento. A *Figura 8* mostra uma dessas curvas típicas.

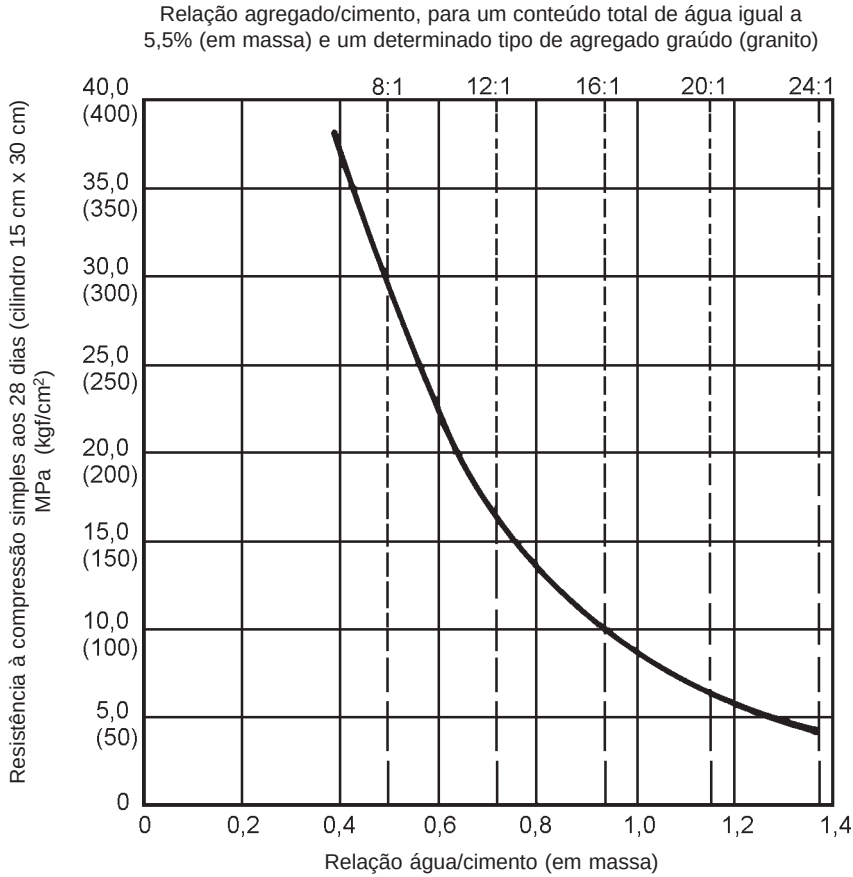


FIGURA 8 - Relação entre resistência à compressão simples aos 28 dias e relação água/cimento, para corpos-de-prova de concreto rolado plenamente compactados

A resistência mínima a ser exigida deve ser determinada, então, na fase das misturas experimentais, para cada caso de projeto e de acordo com o controle empregado e as proporções dos materiais. É medida em corpos-de-prova cilíndricos, de acordo com as normas NBR 5738 (anteriormente, MB-2) e NBR 5739 (MB-3) da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). De uma maneira geral, pode-se prever, para relações cimento:agregado entre 1:12 e 1:20 e conteúdo total de água igual a 5,5% (em massa), resistências à compressão simples da ordem de 6 a 16 MPa (60 a 160 kgf/cm^2) aos 28 dias de idade.

É claro que, na moldagem dos corpos-de-prova, devem ser levadas em consideração as condições da obra, sabendo-se que o concreto será compactado por meio de rolos lisos (vibratórios ou estáticos), pequenos rolos vibratórios ou, em certos casos, até mesmo placas vibratórias.

Quanto ao econocreto podem-se prever, aos 28 dias de idade, valores de resistência à compressão simples entre 11 e 34 MPa (110 e 340 kgf/cm^2); a resistência à tração na flexão atinge, na mesma idade, de 2 a 6 MPa (20 a 60 kgf/cm^2)[4].

4 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

A capacidade de distribuição de carga de um material depende sobremaneira de suas propriedades elásticas. O concreto rolado e o econocreto, mercê de suas características peculiares, são materiais que proporcionam bom comportamento estrutural ao pavimento que compõem. Têm apreciáveis resistências à tração na flexão e módulo elástico, conforme mostrado no *Quadro 1.*

QUADRO 1 - Propriedades típicas do concreto rolado

Propriedade	Relação agregado:cimento em massa = 15:1
Resistência à compressão simples, aos 28 dias MPa (kgf/cm^2)	11,0 (110)
Resistência à tração na flexão, aos 28 dias MPa (kgf/cm^2)	2,5 (25)
Massa específica aparente máxima seca, kg/m^3	2150 a 2300
Módulo de elasticidade estático à compressão, aos 28 dias, 10^4 MPa (10^4 kgf/cm^2)	0,6 a 3,5 (6 a 35)

Pesquisas do *Road Research Laboratory (RRL)* mostram que o concreto rolado se comporta de maneira bastante superior à de outros materiais empregados nos pavimentos flexíveis — como, por exemplo, a brita — quanto à durabilidade. Já os estudos preliminares com o econocreto demonstram a viabilidade de sua utilização, sob diversas formas, sendo fortemente incentivada a construção de trechos (experimentais ou não) pela *Federal Highway Administration (FHWA)*[7].

Para efeito de dimensionamento da espessura de camadas de concreto rolado ou econocreto levam-se em conta os seguintes casos:

- como componente de pavimento semi-flexível;
- como sub-base de pavimento rígido;
- como camada inferior de pavimento monolítico de concreto composto.

4.1 Componente de Pavimento Semi-Flexível

Dependendo da intensidade do tráfego e do suporte do subleito, deve-se adotar uma sub-base granular ou não, caso haja necessidade de se diminuir a espessura requerida da camada cimentada, por motivos construtivos; nesse caso, o método empregado no dimensionamento pode ser o do *Índice de Suporte Califórnia (CBR).* Tendo em vista que as espessuras determinadas por esse método são excessivas, conforme mostra a experiência com o material, é hábito diminuí-las empiricamente de uma porcentagem que varia entre 10% e 20%, o que é decisão e responsabilidade do projetista.

O *Road Research Laboratory (RRL),* baseado nas curvas de dimensionamento do método de CBR (inglês), desenvolveu uma série de 6 cartas de dimensionamento de pavimentos semi-flexíveis[8], colocando o concreto rolado como material de base e considerando apenas sub-bases granulares. Levam em conta o CBR do subleito, o tráfego comercial, o período de projeto e espessuras mínimas recomendadas de capa asfáltica e sub-base.

O *Quadro 2* tem as recomendações mínimas necessárias, de acordo com o tráfego comercial, para as condições brasileiras, considerando a inexistência de congelamento do solo em nosso País.

QUADRO 2 - Espessuras mínimas recomendadas de capa asfáltica e base, para índice de suporte Califórnia igual ou maior que 20%

Intensidade de tráfego comercial, nº de veículos por dia	Espessura mínima de capa asfáltica, cm	Espessura de base de concreto rolado, cm
4500 ou mais	7,5 a 10	20
1500 a 4500	5	18 a 20
450 a 1500	5	15 a 18
450 ou menos	3 a 5	10 a 12

NOTA: Entende-se aqui como tráfego comercial o de veículos com mais de 1,5 toneladas-força por eixo simples.

4.2 Sub-base de Pavimento de Concreto Simples

O efeito de sub-bases sob placas de concreto é, em síntese, o de uniformizar o suporte disponível, aumentá-lo consideravelmente, bloquear as pressões que possam ocorrer por força da variabilidade volumétrica do solo do subleito e, mais importante, evitar a ocorrência do bombeamento — este, causa primordial da ruína da maior parte dos antigos pavimentos de concreto. O concreto rolado e o econocreto proporcionam todos estes efeitos benéficos, grandemente intensificados.

Não há, realmente, um modo racional de dimensionar a espessura da camada de sub-base quando desses casos. É prática corrente fixar essa espessura em 10 cm e considerar que ela proporcione um aumento de suporte maior do que é conseguido por uma camada de solo-cimento, de alta resistência e da mesma espessura; a *Figura 9* mostra essa relação, calculada teoricamente. Note-se que os valores indicados tem-se mostrado inferiores aos que se consegue nas medidas *in situ,* estando, pois, a favor da segurança.

Não há necessidade, a rigor, de adotar espessuras maiores do que 10 cm (ocasionalmente, usam-se até 20 cm); apenas casos de subleito excepcionalmente fraco e cargas muito elevadas (como as das aeronaves modernas e de empilhadeiras de grande porte) exigiriam maior espessura da sub-base. Observe-se que deve inexistir nesses casos aderência entre a sub-base e as placas de concreto simples.

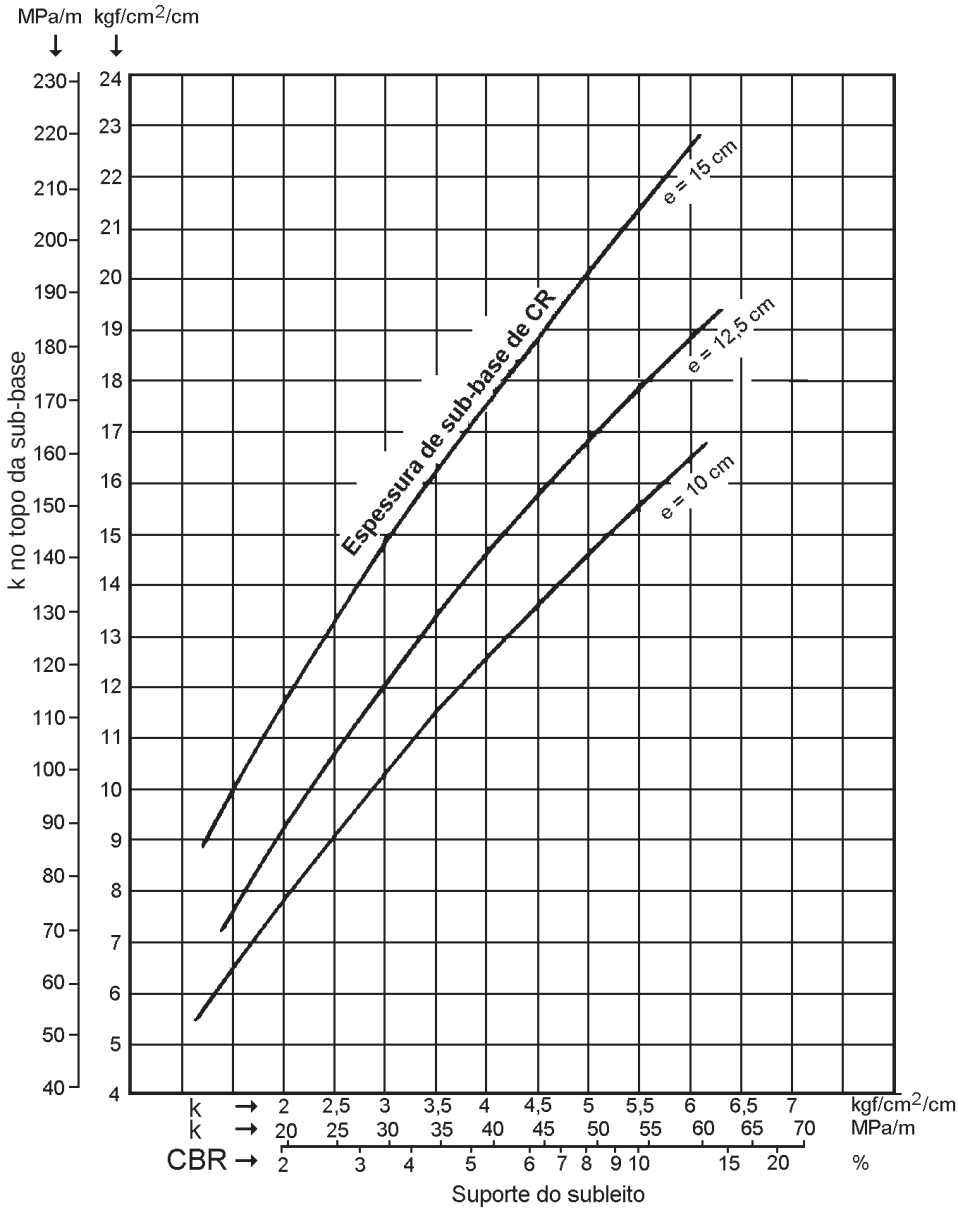


FIGURA 9 - Aumento de k devido à presença de sub-base de concreto rolado (Conforme ABCP)

4.3 Camada Inferior de Pavimento de Concreto Composto

O dimensionamento de pavimentos de concreto composto — os quais consistem de duas camadas totalmente aderentes, respectivamente, de concreto simples (no topo) e de concreto rolado ou de econocreto (no fundo) — deve considerar que o sistema assim construído funciona monoliticamente. A Ref. 9 trata extensivamente do assunto.

5 EXECUÇÃO DO PAVIMENTO

5.1 Proporcionamento e Mistura dos Materiais

É evidentemente desejável proporcionar os materiais gravimetricamente. No entanto, quando bem controlado e em obras de pequeno porte, pode-se usar o proporcionamento em volume; o cimento deve ser — sempre — medido em massa. A escolha do tipo de equipamento de produção é função do volume da obra e da disponibilidade de máquinas e mão-de-obra. Podem ser utilizadas usinas normais de concreto, com capacidade superior a 15 m^3/h, ou simples betoneiras, de pequena capacidade (por exemplo, 0,5 m^3). É corrente o emprego de concreto rolado pré-misturado, especialmente em trabalhos de pequena monta. Em geral, pode-se seguir totalmente as recomendações dos fabricantes de equipamentos sobre os tempos de mistura para o concreto.

Aconselha-se separar os agregados graúdo e miúdo, em dois silos, o que permite um melhor controle do teor de areia na mistura.

5.2 Espalhamento do Concreto

Dependendo da magnitude da obra, pode-se executar o espalhamento manualmente ou selecionar, dentre a variedade de equipamentos mecânicos disponíveis, os mais indicados para cada caso. Vejam-se as *Figuras 10, 11, 12* e *13*: pela ordem, mostram espalhamento manual, com motoniveladora, com distribuidora comum de agregados e vibro-acabadora de asfalto; estas duas últimas são as que propiciam melhores resultados quanto ao nivelamento e acabamento superficial da camada. O espalhamento deve ser feito em uma espessura tal que, após compactada, a camada atinja a espessura do projeto; geralmente, adota-se uma altura de espalhamento de 20% a 30% maior do que a espessura de projeto.

FIGURA 10 - Espalhamento manual

FIGURA 11 - Espalhamento com motoniveladora

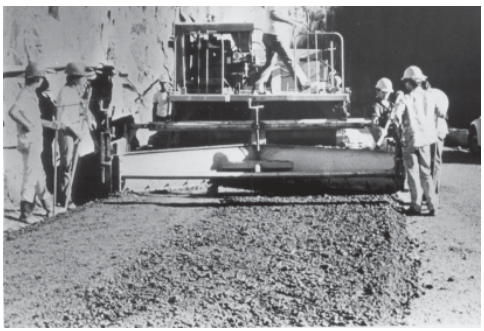


FIGURA 12 - Espalhamento com distribuidora comum de agregados

FIGURA 13 - Espalhamento com vibro-acabadora de asfalto

A regularidade da superfície acabada depende enormemente da quantidade de material espalhado. A tolerância na sua uniformidade é, em geral, de 1 cm para faixas de 3 m de largura, no máximo, em qualquer sentido.

5.3 Compactação

A compactação é normalmente feita com o auxílio de rolos lisos, vibratórios ou não, ou pequenos rolos vibratórios, tendo algumas experiências com placas vibratórias sido bem sucedidas. A máxima espessura recomendável de camada compactada é de 20 cm.

O tipo de equipamento compactador a ser empregado é função do material, do local e do tipo de subleito ou sub-base. O número de passadas necessárias para atingir a compactação desejada deve ser determinado na prática, com a execução prévia de um pequeno trecho experimental; geralmente, são suficientes de 6 a 8 passadas para o rolo tandem liso vibratório de 6 t a 8 t, tendo-se o cuidado de *acamar* previamente o material solto com 1 a 2 passadas do rolo sem a vibração; o rolo liso comum exige 8 a 10 passadas normalmente. Cantos e bordas devem ser especialmente trabalhados por compactação manual, com placa vibratória ou com rolos lisos de pequena largura. As *Figuras 14, 15* e *16* ilustram o procedimento de compactação. Pela ordem, mostram: rolo liso vibratório de pequeno porte; rolo liso vibratório de grande porte; rolo liso vibratório aplicado sem vibração.

FIGURA 14 - Procedimento de compactação. Rolo liso vibratório de pequeno porte

FIGURA 15 - Procedimento de compactação. Rolo liso vibratório de grande porte

FIGURA 16 - Procedimento de compactação. Rolo liso vibratório aplicado sem vibração

5.4 Cura

A experiência demonstra que a ausência ou inadequação da cura ocasiona defeitos indesejáveis, como a aparição de *escamas* superficiais. O processo mais usado de cura é a pintura com emulsão betuminosa, ou um asfalto recortado, na dosagem aproximada de 0,8 ℓ/m^2 *(Figura 17).* Outros procedimentos de cura empregados são vistos nas *Figuras 18, 19* e *20*, pela ordem: colocação de sacaria; de plástico; aspersão de água. Quando houver mais de uma camada de concreto rolado e ocorrer defasagem entre a colocação da primeira e da segunda, deve-se molhar a camada já colocada pelo menos duas vezes por dia, ou cobri-la com papel *kraft* ou plástico. O tempo recomendado de manutenção da cura nessas condições é de, pelo menos, 3 dias, sem tráfego de nenhuma espécie.

FIGURA 17 - Processo mais usado de cura. Pintura com emulsão betuminosa ou asfalto recortado

FIGURA 18 - Colocação de sacaria

FIGURA 19 - Colocação de plástico

FIGURA 20 - Aspersão de água

5.5 Entrega ao Tráfego

Quando se empregar capeamento asfáltico, deve-se colocá-lo somente após os 3 dias de cura inicial do concreto. Sem o revestimento, a base só poderá ser entregue ao tráfego após 7 dias de cura, no mínimo. No caso de sub-base para pavimentos de concreto é recomendável, embora não imprescindível, ainda observar os 3 dias de cura inicial.

6 CONTROLE DE EXECUÇÃO

6.1 Granulometria

É essencial controlar a granulometria dos agregados, para verificar se ela se conserva dentro dos limites preconizados. No caso de mistura entre agregado graúdo e miúdo, além do controle granulométrico é possível um controle visual, por observação da mistura durante o espalhamento e a compactação: se ocorrer segregação ou a superfície final apresentar-se esburacada, é certo estar ocorrendo deficiência de material fino. O controle de granulometria é feito no mínimo uma vez por dia.

6.2 Compactação

O controle de compactação dá-se pela medida *in situ* da massa específica aparente seca do material compactado, usando-se o método do frasco de areia. O ensaio deve ser feito, à razão de 5 por 1500 m^2 de base, até 12 horas após o término da compactação. Para material já endurecido, pode-se aplicar um método alternativo, qual seja o de se retirar uma amostra indeformada, secá-la a 105°C a 110°C até massa constante, envolvê-la em parafina, pesá-la a seguir imersa em água e aplicar a fórmula:

$$\gamma_s = \frac{P_1}{P_1 - P_2} \times \gamma_a \qquad \textbf{[1]}$$

com:

γ_s = *massa específica aparente seca, kg/m^3;*

P_1 = *massa do corpo-de-prova seco, kg;*

P_2 = *massa do corpo-de-prova imerso em água, kg;*

γ_a = *massa específica da água, 10^3 kg/m^3.*

6.3 Espessura

A espessura da base compactada deve ser verificada diariamente, a intervalos aleatórios. É prático tomar a medida da espessura nos próprios furos feitos para o controle de compactação, 5 vezes por 1500 m^2 de camada. Fica claro que, após a medida, o furo deve ser preenchido de material um pouco enriquecido e compactado energicamente. A faixa de variação pode ser estabelecida entre os seguintes limites: para furos individuais, ± 12% sobre a espessura de projeto; para a média dos furos, ± 8% sobre o mesmo valor.

6.4 Resistência Mecânica

Devem ser tomadas ao acaso amostras em 5 pontos, para cada 1500 m^2 de camada. Das amostras serão moldados manualmente corpos-de-prova cilíndricos, com 15 cm de base por 30 cm de altura; o soquete pesará 4,5 kg, com altura de queda de 45 cm e em 5 camadas; são aplicados 30 golpes por camada, sendo o cilindro completado com material até o topo. Essa compactação corresponde, nesse caso, à energia normal, sendo que outras energias podem ser utilizadas, a critério do projeto.

Após a moldagem, os corpos-de-prova (3 por idade, no mínimo) devem ser cobertos com areia ou serragem molhada por 16 a 24 horas, sendo a seguir retirados dos moldes e submetidos à cura em água por 7 dias e 28 dias; tratando-se de cimento de alto-forno ou pozolânico, recomenda-se a cura e, conseqüentemente, ensaio de resistência também aos 90 dias.

A massa específica aparente seca do corpo-de-prova — fator preponderante no valor da resistência à compressão *(Figura 21)* — é calculada pela fórmula a seguir:

$$\gamma_s = \frac{P_h}{0{,}00531\,(1+h)} \qquad \textbf{[2]}$$

sendo:

γ_s = *massa específica aparente seca do corpo-de-prova, kg/*m^3;

P_h = *massa do corpo-de-prova úmido, antes do ensaio de compressão, kg;*

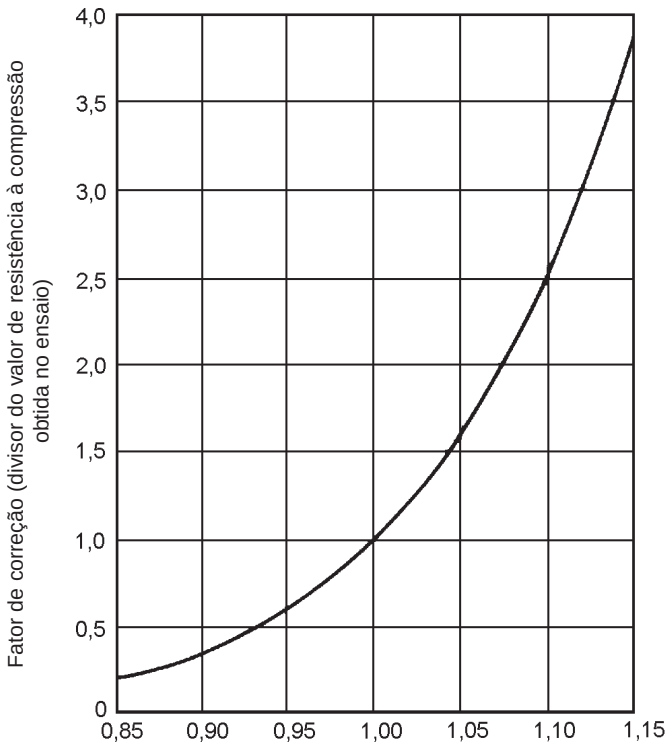
h = *umidade do corpo-de-prova* = $\dfrac{P_h - P_s}{P_s}$;

em que:

P_h = *massa da amostra úmida, g;*

P_s = *massa da amostra seca, g (estufa a 105°C a 110°C, até massa constante).*

A resistência à compressão de cada exemplar será então ajustada, dividindo-se o valor encontrado pelo fator de correção determinado na *Figura 21*, em função da relação entre a massa específica aparente seca máxima obtida no ensaio de compactação e a calculada para o corpo-de-prova ensaiado.



Relação $\frac{\gamma s}{\gamma M}$ = $\frac{\textit{massa específica aparente seca do corpo-de-prova ensaiado}}{\textit{massa específica aparente seca do ensaio de compactação}}$

FIGURA 21 - Fatores de correção a serem aplicados à resistência à compressão obtida no ensaio, para várias relações entre as massas específicas aparentes secas obtidas na moldagem dos corpos-de-prova e no ensaio de compactação

Referências Bibliográficas

1. CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION (CCA). *Lean concrete bases of roads.* London, 1962.

2. BLAKE, L. S. *Lean-mix concrete bases.* London, CCA, 1958. (Reprint n.54).

3. YRJANSON, W. A. *Econocrete in pavement design.* In: *INTERNATIONAL Conference on Concrete Pavement Design,* Purdue University, West Lafayette, 1977. p.487-95.

4. AMERICAN CONCRETE PAVING ASSOCIATION. *Econocrete.* Arlington Heights, 1975. (Report n.1).

5. WILLIAMS, R. I. T. *The effect of cement content on the strength and elastic properties of dry lean concrete.* London, CCA, 1962. (TRA/323).

6. INGLATERRA. Dept. of Scient. and Ind. Research. Road Research Lab. *Construction of housing-estate using granular base and subbase materials.* London, Her Majesty's Stationery Office, 1955. (Road Note n.20).

7. ESTADOS UNIDOS. Dept. of Transportation. Federal Highway Administration. *Pavement, subbase and shoulder designs using econocrete and the initiation of NEEP Project n.20; experimental pavement construction using econocrete: Notice N5080.34*. In: AMERICAN CONCRETE PAVING ASSOCIATION. *Econocrete.* Arlington Heights, 1975. p.62-70. (Report n.1).

8. INGLATERRA. Dept. of the Environment. Road Research Lab. *A guide to the structural design of pavements for new roads.* 3.ed. London, Her Majesty's Stationery Office, 1970. (Road Note n.29).

9. PITTA, M. R. & CARVALHO, M. D. de. *Dimensionamento dos pavimentos de concreto composto.* In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PAVIMENTAÇÃO (ABPv). *Anais da 16ª Reunião Anual de Pavimentação,* Olinda, 1981. v.3, p.17-52.

Sede:
Av. Torres de Oliveira, 76 - Jaguaré - 05347-902-São Paulo/SP
Tel.: (11) 3760-5300 - Fax: (11) 3760-5320
DCC 0800-0555776 - www.abcp.org.br

Escritórios Regionais:

Pernambuco	-	Tel: (81) 3092-7070 - Fax: (81) 3092-7074
Distrito Federal	-	Tel./Fax: (61) 3327-8768 e 3328-7776
Minas Gerais	-	Tel./Fax: (31) 3223-0721
Rio de Janeiro	-	Tel: (21) 2531-1990 - Fax: (21) 2531-2729
São Paulo	-	Tel: (11) 3760-5374 - Fax: (11) 3760-5320
Paraná	-	Tel: (41) 3353-7426 - Fax: (41) 3353-4707

Representações Regionais:

Ceará:	-	Tel./Fax: (85) 3261-2697
Bahia	-	Tel./Fax: (71) 3354-6947
Santa Catarina	-	Tel./Fax: (48) 3322-0470
Rio Grande do Sul	-	Tel./Fax: (51) 3395-3444
Mato Grosso e Mato Grosso do Sul	-	Tel./Fax: (67) 3327-2480
Espírito Santo	-	Tel./Fax: (27) 3314-3601