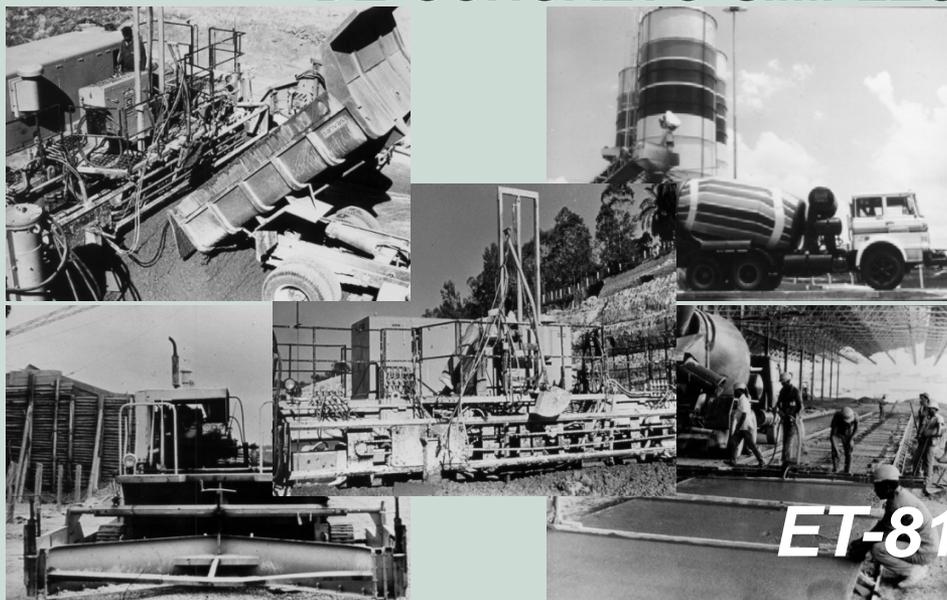


# ESTUDO TÉCNICO

## CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLES



Associação  
Brasileira de  
Cimento Portland



Associação Brasileira de Cimento Portland

**CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS  
DE CONCRETO SIMPLES**

por

*Márcio Rocha Pitta*  
*Engenheiro Civil*

São Paulo  
outubro de 1998

Revisão: 3

1ª edição - 1985

2ª edição - 1989

3ª edição - 1998 (mudanças no aspecto gráfico)

PITTA, Márcio Rocha

Construção de pavimentos de concreto simples. 3.ed.

São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

88p. ilus. (ET-81)

**ISBN 85-87024-05-1**

Pavimentos de concreto - Construção

Pavimentos de concreto - Controle

**CDD 625.84**

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

## LISTA DAS FIGURAS

<i>nº</i>	<i>Título</i>	<i>p.</i>
1	<i>Equipamento reduzido .....</i>	<i>27</i>
2	<i>Fôrmas metálicas .....</i>	<i>28</i>
3	<i>Fôrmas de madeira ou mistas .....</i>	<i>28</i>
4	<i>Régua vibratória .....</i>	<i>28</i>
5	<i>Régua acabadora de madeira .....</i>	<i>29</i>
6	<i>Serra de disco diamantado .....</i>	<i>29</i>
7	<i>Equipamento sobre fôrmas-trilho .....</i>	<i>30</i>
8	<i>Fôrmas-trilho metálicas .....</i>	<i>31</i>
9	<i>Distribuidora de concreto, regulável e com tração própria .....</i>	<i>31</i>
10	<i>Eixo rotor frontal .....</i>	<i>31</i>
11	<i>Vibro-acabadora .....</i>	<i>32</i>
12	<i>Acabadora diagonal oscilante .....</i>	<i>32</i>
13	<i>Equipamento de fôrmas deslizantes .....</i>	<i>33</i>
14	<i>Vista lateral da fôrma deslizante (assinalada pela seta) .....</i>	<i>33</i>
15	<i>Vista da esteira lateral do equipamento de fôrmas deslizantes .....</i>	<i>34</i>
16	<i>Sistema de controle eletrônico de direção e nivelamento por fio-guia .....</i>	<i>34</i>
17a	<i>Assentamento de fôrmas .....</i>	<i>36</i>
17b	<i>Assentamento de fôrmas .....</i>	<i>36</i>
18	<i>Esquema da fixação das fôrmas com ponteiros de aço ou de ferro .....</i>	<i>37</i>
19	<i>Gabarito de fundo de caixa .....</i>	<i>38</i>
20	<i>Usina central para concreto .....</i>	<i>38</i>
21	<i>Betoneiras isoladas .....</i>	<i>39</i>
22	<i>Concreto pré-misturado fora da obra .....</i>	<i>39</i>
23	<i>Misturador acoplado a alimentador e balança dosadora .....</i>	<i>40</i>

24	<i>Central dosadora alimentada por pá-carregadora .....</i>	41
25	<i>Centrais equipadas com betoneiras do tipo contracorrente .....</i>	41
26	<i>Corte de tambor de betoneira típica .....</i>	43
27	<i>Sistemas de mistura forçada contracorrente .....</i>	43
28	<i>Lançamento de concreto por descarga lateral .....</i>	46
29	<i>Retrolançamento do concreto, ou seja, postado o veículo de ré e à frente do equipamento .....</i>	47
30	<i>Espalhamento manual do concreto .....</i>	47
31	<i>Recepção e distribuição mecânica do concreto pela pavimentadora de fôrmas deslizantes .....</i>	48
32	<i>Equipamento reduzido .....</i>	49
33	<i>Equipamento sobre fôrmas-trilhos — aplicação dos vibradores de imersão .....</i>	50
34	<i>Equipamento sobre fôrmas-trilhos — regularização da superfície com o eixo rotor frontal .....</i>	50
35a	<i>Equipamento sobre fôrmas-trilhos — aplicação de vibro-acabadora isolada do conjunto .....</i>	50
35b	<i>Equipamento sobre fôrmas-trilhos — aplicação de vibro-acabadora acoplada ao conjunto .....</i>	51
36	<i>Equipamento de fôrmas deslizantes .....</i>	51
37	<i>Esquema de pontes de serviço .....</i>	52
38	<i>Nivelamento da superfície com a régua de 3 m de comprimento .....</i>	53
39	<i>Aplicação de rodos leves cobertos de borracha, para a eliminação do excesso d'água superficial .....</i>	53
40	<i>Régua acabadora de madeira (assinalada pela seta) .....</i>	54
41	<i>Régua acabadora do equipamento sobre fôrmas-trilhos .....</i>	54
42	<i>Régua finalizadora flutuante .....</i>	55
43a	<i>Acabamento superficial e acerto das bordas longitudinais .....</i>	55

43b	<i>Acabamento superficial e acerto das bordas longitudinais</i> .....	56
43c	<i>Acabamento superficial e acerto das bordas longitudinais</i> .....	56
44a	<i>Aplicação do pente de fios metálicos não flexíveis</i> .....	57
44b	<i>Superfície do concreto fresco após a passagem do pente de fios metálicos não flexíveis</i> .....	57
45a	<i>Pente de fios de náilon</i> .....	58
45b	<i>Aplicação do pente de fios de náilon</i> .....	58
46	<i>Aplicação do tubo cilíndrico metálico provido de mossas e saliências</i> .....	59
47a	<i>Aplicação da vassoura de piaçava</i> .....	59
47b	<i>Superfície resultante da aplicação da vassoura de piaçava</i> .....	59
48a	<i>Aplicação da tira ou faixa de lona no sentido longitudinal da pavimentação</i> .....	60
48b	<i>Superfície resultante da aplicação da tira ou faixa de lona</i> .....	60
49	<i>Marcação do local da futura junta serrada, por pontos fixados nas duas margens da pista</i> .....	61
50a	<i>Operação de corte da junta transversal</i> .....	62
50b	<i>Detalhe da operação de corte da junta</i> .....	62
51	<i>Junta transversal de retração recém-aberta por corte com serra</i> .....	63
52	<i>Junta transversal de retração serrada, vendo-se a fissura de retração já estabelecida</i> .....	63
53	<i>Exemplo hipotético de plano de corte para as juntas transversais de retração, com tempo mínimo de aplicação da serra após 8 horas da concretagem do local</i> .....	64
54	<i>Juntas moldadas</i> .....	65
55	<i>Barras de transferência dispostas ao longo da futura junta transversal</i> .....	66

56	<i>Esquema de dispositivo de apoio (caranguejo) para as barras de transferência (tipo usado em pavimentos de, no mínimo, 30 cm de espessura) .....</i>	67
57	<i>Colocação das barras de transferência posteriormente à concretagem .....</i>	67
58	<i>Junta de construção de encaixe .....</i>	68
59	<i>Junta longitudinal de seção enfraquecida moldada no concreto fresco .....</i>	69
60	<i>Junta longitudinal de seção enfraquecida serrada no concreto semi-endurecido .....</i>	69
61	<i>Barras de ligação .....</i>	70
62	<i>Instalação da junta de expansão com barras de transferência — sistema de fixação .....</i>	71
63	<i>Junta de expansão sem barras de transferência .....</i>	72
64a	<i>Instalação da junta transversal de construção planejada .....</i>	73
64b	<i>Junta transversal de construção planejada já executada .....</i>	73
65	<i>Junta transversal de construção de emergência já executada .....</i>	74
66	<i>Selagem de juntas .....</i>	74
67	<i>Selagem de juntas .....</i>	75
68	<i>Selagem de juntas .....</i>	75
69a	<i>Cura inicial por meio de tecidos .....</i>	77
69b	<i>Cura inicial por meio de tecidos .....</i>	77
70	<i>Cura inicial por lençol plástico .....</i>	78
71	<i>Cura inicial com emprego de produto químico líquido .....</i>	78
72	<i>Aplicação manual da cura com produto químico líquido .....</i>	79
73	<i>Cura inicial por aplicação automática (mecanicamente) de produto químico líquido .....</i>	79
74	<i>Tetos móveis de lona .....</i>	80
75	<i>Corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos para o controle das resistências mecânicas .....</i>	82

# SUMÁRIO

## LISTA DAS FIGURAS

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	9
<b>2</b>	<b>MATERIAIS</b> .....	10
2.1	Concreto .....	10
2.1.1	Cimento .....	15
2.1.2	Agregados .....	16
2.1.3	Água .....	19
2.1.4	Aditivos .....	19
2.2	Aço para Barras de Transferência e de Ligação .....	20
2.3	Selante de Juntas e Material de Enchimento de Juntas de Dilatação .....	21
2.4	Materiais para Cura .....	22
2.4.1	Água .....	22
2.4.2	Tecidos .....	22
2.4.3	Lençol plástico .....	22
2.4.4	Lençol de papel betumado .....	22
2.4.5	Compostos químicos .....	22
2.4.6	Material arenoso .....	22
2.5	Materiais para Isolamento e Impermeabilização do Pavimento .....	23
2.5.1	Lençóis plásticos ou de papel betumado .....	23
2.5.2	Pintura betuminosa .....	23
<b>3</b>	<b>PREPARO DA FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO</b> .....	23
3.1	Generalidades .....	23
3.2	Preparação do Subleito .....	23
3.3	Construção da Sub-base .....	25
3.4	Impermeabilização e Isolamento da Fundação .....	25
<b>4</b>	<b>EQUIPAMENTOS DE CONSTRUÇÃO</b> .....	26
4.1	Equipamento Reduzido .....	27
4.2	Equipamentos sobre Fôrmas-trilhos .....	29
4.3	Equipamento de Fôrmas Deslizantes .....	33
<b>5</b>	<b>CONCRETAGEM DO PAVIMENTO</b> .....	35
5.1	Assentamento de Fôrmas .....	35
5.2	Confecção do Concreto .....	38

5.2.1	Equipamentos .....	39
5.2.2	Produção do concreto .....	42
5.3	Transporte .....	45
5.4	Lançamento .....	46
5.5	Espalhamento .....	47
5.6	Adensamento .....	48
5.7	Acabamento .....	53
<b>6</b>	<b>JUNTAS</b> .....	<b>61</b>
6.1	Generalidades .....	61
6.2	Juntas Transversais de Retração .....	61
6.2.1	Serradas .....	62
6.2.2	Moldadas .....	65
6.3	Barras de Transferência .....	65
6.4	Juntas Longitudinais .....	67
6.4.1	De construção .....	68
6.4.2	De seção enfraquecida .....	69
6.5	Barras de Ligação .....	70
6.6	Juntas de Expansão .....	71
6.7	Juntas de Construção .....	72
6.8	Selagem de Juntas .....	74
<b>7</b>	<b>CURA</b> .....	<b>76</b>
7.1	Generalidades .....	76
7.2	Cura Inicial .....	77
7.3	Cura Final .....	80
7.4	Cuidados Especiais de Cura em Condições Desfavoráveis de Clima .....	81
7.5	Proteção do Pavimento .....	81
<b>8</b>	<b>CONTROLE DE CONSTRUÇÃO</b> .....	<b>81</b>
8.1	Controle das Resistências Mecânicas .....	81
8.2	Controle de Espessura .....	85
8.3	Aceitação e Rejeição .....	85
8.3.1	Aceitação automática .....	85
8.3.2	Decisão no caso de não aceitação automática .....	86
8.3.3	Decisão .....	86
8.4	Abertura ao Tráfego .....	86
	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> .....	<i>87</i>

## 1 INTRODUÇÃO

Esta publicação é uma *Prática Recomendada*, isto é, um texto que contém indicações sobre a maneira mais adequada e conveniente de cumprir uma determinada ação ou operação. Para tanto, busca-se compilar as diferentes técnicas, procedimentos e experiências sobre o assunto, de modo que se consiga, com segurança, definir qual é o melhor caminho para a obtenção de um produto final acabado de características ótimos — seja do ponto de vista da obediência ao projeto e às especificações, seja sob o enfoque da economia de custos, da racionalização do trabalho ou da melhor prestação de serviços ao usuário durante o período de vida da obra a que se refere.

Assim é com a *Prática Recomendada* que aqui se apresenta: tratando de um assunto de domínio público como o é a construção de pavimentos de concreto, teve o cuidado de fundar-se no levantamento de conhecimentos originários de diferentes fontes, procurando os que melhor se enquadrassem nas condições gerais brasileiras, em termos de tecnologia de construção, equipamentos efetivamente disponíveis, mão-de-obra, situação econômica e outros fatores.

O texto refere-se à construção e ao controle de pavimentos de concreto simples<sup>(\*)</sup>, entendendo-o como definido pela NBR 7583 - *Execução de pavimentos de concreto simples por meio mecânico*, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): **“é o pavimento de concreto de cimento portland no qual as tensões solicitantes são combatidas tão somente pelo próprio concreto e que não contém nenhum tipo de armadura distribuída, não se considerando como tal eventuais sistemas de ligação ou de transferência de carga entre as placas formadas pelas juntas longitudinais e transversais, nem armaduras de retração também eventualmente exigidas pelo projeto e aplicadas em poucas placas isoladas de forma, tamanho ou função inusuais”**.

A mencionada norma brasileira<sup>1(\*\*)</sup> foi a principal base escrita consultada, posto ser atual e ligada, de fato, às necessidades reais do meio técnico de pavimentação no Brasil; entretanto, a presente *Prática Recomendada* é mais abrangente e, sob certos aspectos, tem finalidade didática.

---

(\*) Os pavimentos de concreto dotados de armadura enquadram-se, entretanto, na maior parte das recomendações de construção e controle aqui contidas; exigem, apesar disso, alguns ajustes importantes nestas últimas, de modo que se leve em conta as peculiaridades a eles inerentes.

(\*\*) Os números pequenos sobrescritos dessa forma remetem à *Referência Bibliográfica*, no fim do texto.

## 2 MATERIAIS

### 2.1 Concreto

Um pavimento de concreto é uma estrutura sujeita a ações mecânicas — ligadas às cargas — e ambientais — fruto das variações de temperatura e de umidade do meio — que podem ser de grande severidade, exigindo-lhe elevadas resistências à tração na flexão e à compressão simples, de modo a dar-lhe a necessária, imprescindível durabilidade. Além disso, o pavimento de concreto tem proporção entre área e volume muito grande e condições peculiares de concretagem, o que requer geralmente um tipo de concreto *duro*, de consistência *seca*, mas com uma certa trabalhabilidade mínima que lhe permita, em função do tipo de equipamento empregado, resultar homogêneo, denso e de grande impermeabilidade. Por essas condicionantes, o concreto empregado em pavimentos deve ser dosado exclusivamente por método *experimental*<sup>(\*)</sup>, sempre considerando como básicos os requisitos:

- alta resistência mecânica;
- baixa relação água/cimento;
- consumo mínimo unitário de cimento;
- limitação da dimensão máxima característica do agregado;
- consistência seca;
- trabalhabilidade.

Dentre os diferentes métodos de dosagem que se empregam corriqueiramente (Instituto Nacional de Tecnologia - INT e *American Concrete Institute - ACI*, por exemplo), nenhum é voltado especialmente para concretos destinados a pavimentos, o que pode fazer com que determinadas exigências que estipulem sejam às vezes inadequadas, por falta ou por excesso, ao uso específico e às propriedades destes. Um dos raros procedimentos desenvolvidos especialmente para isso é o recente trabalho de *BUCHER*<sup>2</sup>, da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), recomendado para obras acima de um porte mínimo, construídas com materiais, equipamento e mão-de-obra que cumpram certas exigências de qualidade e uniformidade<sup>(\*\*)</sup>.

No dimensionamento dos pavimentos de concreto usa-se diretamente a *resistência característica à tração na flexão*,  $f_{ctM,k}$  (quase sempre sob a

(\*) Naturalmente, em pequenas obras pode-se admitir a dosagem empírica, fundamentada em experiência anterior ou em *receitas* práticas.

(\*\*) O custo médio de uma dosagem completa feita pelo método citado orça em umas 60 O.R.T.N., envolvendo amostragem, caracterização dos materiais e comprovação experimental do traço.

denominação de *módulo de ruptura*,  $M_R$ ), determinada em corpos-de-prova prismáticos, carregados nos terços do vão; a moldagem deve seguir a NBR 5738 e o ensaio conforme a norma C-78 da *American Society for Testing and Materials (ASTM)*, visto não existir, até a data, norma brasileira sobre o assunto; ver as Refs. 3 e 4. Os valores típicos da resistência característica à tração na flexão dos concretos de pavimentação cabem no intervalo entre 3,8 MPa e 5,0 MPa, raramente ocorrendo maiores valores — às vezes, em projetos de aeródromos de grande porte ou em certos pavimentos sujeitos a cargas muito especiais e abrasão excepcionalmente forte, podem chegar a 5,5 MPa.

É muito usual o emprego de correlações entre as resistências à tração na flexão e à compressão simples do concreto, pelas dificuldades contidas no ensaio de tração na flexão — dispositivos particulares de ensaio, moldagem complicada e manuseio difícil dos corpos-de-prova, dispersão acentuada dos resultados — e pelo fato de serem os métodos comuns de dosagem do concreto fundamentados exclusivamente no ensaio de compressão simples. Deve-se ter em mente, contudo, que qualquer correlação matemática entre as resistências, de base experimental ou não, carece de abrangência universal, dependendo fortemente tanto das características dos constituintes quanto da composição do concreto; não se pode, por isso, aplicá-las indiscriminadamente a qualquer caso, a não ser que a experiência local e o porte da obra o permitam.

Dentre as diversas equações clássicas que correlacionam as duas resistências — *LOBO CARNEIRO* e *ACI*, por exemplo — pode ser escolhida a que melhor se enquadrar na experiência regional; uma correlação moderna, de boa confiabilidade estatística e derivada de extensa e abrangente pesquisa nos laboratórios da ABCP consta da Referência 5. Todas podem ser de boa valia em situações de urgência ou em que seja impossível ou inviável estabelecer a relação real. De qualquer maneira, deve-se ressaltar que a precisão somente pode ser alcançada se a correlação for fruto de ensaios paralelos efetuados com o concreto a ser empregado na pavimentação. Para resistências em MPa, eis as três equações mencionadas:

$$f_c = 0,82 (f_{ctM} + 1,4)^2 \quad \rightarrow \quad \text{LOBO CARNEIRO}$$

$$f_c = K \bar{f}_{ctM}^2 \quad \rightarrow \quad \text{ACI}$$

$$(1,42 \leq K \leq 0,22)$$

$$f_c = \left( \frac{f_{ctM}}{0,56} \right)^{1,67} \quad \rightarrow \quad \text{ABCP}$$

A fixação da resistência à tração na flexão para a dosagem do concreto deve obedecer aos critérios da NBR 7583 (Ref. 1), que estipulam um quantil de 20% para tanto:

$$f_{ctM,j} = f_{ctM,k} + 0,84 s$$

em que:

$f_{ctM,j}$  = *resistência de dosagem do concreto à tração na flexão;*

$f_{ctM,k}$  = *resistência característica do concreto à tração na flexão, numericamente igual ao valor do módulo de ruptura usado no dimensionamento do pavimento;*

$s$  = *desvio padrão da resistência média da amostra à tração na flexão.*

Sugere-se nesta Prática Recomendada adotar, quando não se conhecer o desvio padrão da fonte de produção do concreto, os seguintes valores práticos:

- a) quando a produção for assistida por profissional legalmente habilitado e especializado em tecnologia do concreto, os materiais forem medidos em massa, houver controle freqüente e preciso do teor de umidade dos agregados e garantia de homogeneidade dos materiais a serem empregados no decorrer da obra,

$$s = 0,6 \text{ MPa}$$

- b) quando todas as condições anteriores forem obedecidas, com exceção da dosagem dos agregados, feita em volume, e sem a garantia de manutenção da homogeneidade dos materiais a serem empregados no decorrer da obra,

$$s = 0,9 \text{ MPa}$$

- c) quando o cimento for medido em massa, os agregados em volume e a correção da quantidade de água em função da umidade da areia simplesmente estimada,

$$s = 1,2 \text{ MPa}$$

Caso se houver estabelecido para o concreto em questão uma correlação confiável entre as resistências à tração na flexão e à compressão simples, a

dosagem poderá ser feita com a medida da resistência à compressão simples. A resistência de dosagem fixa-se, então, por:

$$f_{cj} = f_{ck} + 0,84 s$$

em que:

$f_{cj}$  = resistência à compressão de dosagem ao concreto;

$f_{ck}$  = resistência característica à compressão do concreto;

$s$  = desvio padrão da resistência média à compressão.

Quando se desconheça o desvio padrão da fonte de produção do concreto, sugerem-se três valores para ele, que correspondem aos mesmos três níveis de condições de canteiro estipulados anteriormente para o caso da dosagem por tração na flexão:

a)  $s = 4,0 \text{ MPa}$

b)  $s = 5,5 \text{ MPa}$

c)  $s = 7,0 \text{ MPa}$

As resistências de dosagem (sejam à compressão simples, sejam à tração na flexão) referem-se a ensaios de corpos-de-prova com 28 dias de idade, a não ser nos casos de pavimentos cujo carregamento seja muito bem controlado ou de pequena monta nos primeiros tempos de utilização — como os pavimentos de aeródromos, por exemplo — nos quais se admite a dosagem aos 90 dias. Regra geral, um pavimento de concreto poderia ser aberto ao tráfego somente quando sua resistência efetiva fosse igual, no mínimo, à resistência característica indicada no dimensionamento (numericamente, igual ao módulo de ruptura); entretanto, é perfeitamente viável fazê-lo *antes* que isso aconteça, desde que o projetista verifique os possíveis efeitos que o carregamento precoce possa trazer à sanidade estrutural e, conseqüentemente, à durabilidade do pavimento. Quando se necessite antecipar o uso do pavimento, há ainda meios artificiais de garantir-lhe maior resistência inicial, como o emprego de cimentos especiais, de aditivos apropriados e de procedimentos de cura acelerada.

A relação água/cimento deve ser a mais baixa possível, de modo a produzir um concreto de consistência e trabalhabilidade compatíveis com o tipo e a capacidade de produção do equipamento de construção, sendo ainda de

resistência capaz de assegurar durabilidade à estrutura, consideradas as condições de exposição e o período de projeto. Os valores máximos para a relação água/cimento devem ser estabelecidos levando em conta, em primeiro lugar, o requisito de durabilidade; secundariamente, a consistência e a trabalhabilidade. O *Quadro 1* fornece recomendações sobre os valores máximos a serem adotados, em função dos graus de severidade da exposição e da solicitação do pavimento (adaptado da Ref. 2).

QUADRO 1 - Valores máximos recomendados para a relação água/cimento dos concretos, em função das condições de exposição e solicitação do pavimento (adaptado da Ref. 2)

Descrição das condições de exposição e solicitação do pavimento	Classificação	Máxima relação água/cimento recomendada
Clima brando, sem alternância brusca de temperatura nem de umidade. Presença de sub-base ou, então, inexistência de sulfatos na fundação. solicitação não abrasiva da face de rolamento.	Condições moderadas de exposição	0,55
Clima com alternância brusca e ampla de temperaturas, umidade relativa do ar permanentemente alta ou freqüentes ciclos diários de molhagem e secagem. Inexistência de sub-base, combinada com fundação contendo até 2.000 mg/kg de sulfatos. Eventualmente, abrasão da face de rolamento.	Condições rigorosas de exposição	0,50
Clima extremamente severo. Ataque químico quer pela face de suporte, quer pela de rolamento. Forte solicitação abrasiva.	Condições severas de exposição	0,45

A consistência de um concreto simples de pavimentação é seca, compatível com a maciça presença de agregado graúdo na massa, entre outras coisas. Em concretos correntes de edificações, a medida da consistência dá-se pelo ensaio de abatimento do tronco de cone de *ABRAMS*<sup>®</sup>; aos pavimentos, contudo, métodos de ensaio de natureza dinâmica podem aplicar-se melhor, visto detectarem com mais precisão nuances e pequenas variações na consistência do que o procedimento estático. A Referência 2 sugere que, pelo menos na fase de comprovação experimental da dosagem no laboratório, utilize-se paralelamente qualquer um dos seguintes outros: *Vebe*, fator de compactação de *Glanville*, mesa de *Graf*, fluidímetro de *Lesage* ou remoldagem de *Powers*, informando as

correlações aproximadas entre eles, o que pode ser feito sempre que a obra e seu tipo específico de concreto o requererem. Recomenda-se que o valor do abatimento seja fixado em função do tipo de equipamento de construção do pavimento (ver a seção 4):

- a) equipamento reduzido e equipamento sobre fôrmas-trilhos — abatimento máximo de  $5 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$ ;
- b) equipamento de fôrmas deslizantes — abatimento máximo de  $2 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$ .

Quanto à trabalhabilidade do concreto, propriedade que lhe permite ser transportado, lançado, distribuído, adensado e acabado sem sofrer danos quanto à homogeneidade da massa e à futura resistência mecânica e durabilidade do material endurecido, depende da dimensão máxima característica do agregado graúdo, do teor de argamassa, do consumo de cimento e da consistência do concreto; é função, portanto, de parâmetros fixados previamente, seja no projeto (dimensão máxima do agregado, função da espessura da placa de concreto), seja nas especificações gerais de construção (consumo de cimento, consistência), seja no método de dosagem (teor de argamassa, consistência). Daí depreende-se que, estabelecidos os dados que se originem do projeto e das especificações correntes, basta ajustar a trabalhabilidade aos padrões desejados, quando da verificação experimental da dosagem, pela observação da massa fresca, cujo aspeto e plasticidade orientarão as eventuais modificações no teor de argamassa e no fator água/cimento<sup>(\*)</sup>.

### 2.1.1 Cimento

A indústria brasileira está capacitada atualmente para produzir cinco tipos de cimento portland, divididos em até três classes de resistência à compressão aos 28 dias; são eles, com as respectivas normas vigentes e aplicáveis:

- NBR 5732 - Cimento Portland Comum<sup>7</sup>, classes 25, 32 e 40;
- NBR 5733 - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial<sup>8</sup>;
- NBR 5735 - Cimento Portland de Alto-Forno<sup>9</sup>, classes 25 e 32;
- NBR 5736 - Cimento Portland Pozolânico<sup>10</sup>, classes 25 e 32;
- NBR 5737 - Cimento Portland de Moderada Resistência aos Sulfatos e Moderado Calor de Hidratação<sup>11</sup>.

(\*) Ver, por exemplo, a seção 7 da Referência 2.

Qualquer deles é usável em concretos de pavimentos, sem exceção. Deve-se levar em conta, entretanto, que o comportamento particular de um concreto variará com os características individuais de cada tipo de cimento usado, principalmente no que respeita à resistência mecânica, à consistência, à exsudação de água e, não menos importante, à economia. Nesse ponto verifica-se a importância de uma dosagem racional, que possibilitará comparações experimentais decisórias entre um e outro tipo e classe de cimento que, porventura, encontrem-se disponíveis para uso em dada obra.

Não há também restrições quanto a cimentos portland nos quais o desenvolvimento de resistência seja mais lento — como os pozolânicos, os de alto-forno, de moderada resistência a sulfatos e moderado calor de hidratação — visto que é possível garantir no prazo especificado a resistência à tração na flexão prevista para o concreto, seja por procedimentos apropriados de cura, seja por uso de aditivos adequados, quando for rigorosamente necessário.

O cimento deverá ser armazenado em local protegido da umidade, sendo que as partidas recebidas em datas diferentes deverão estar identificadas através de anotações de entrada e saída para consumo na obra. Cimento fornecido em sacos necessita ser armazenado em pilhas sobre estrados (máximo de 15 sacos por pilha), vedando-se o reaproveitamento de sacos rasgados ou cimento derramado. Não há objeção ao uso de cimentos diferentes, atentando-se que:

- a) para cada um deles empregue-se a dosagem correspondente;
- b) não se misturem diferentes cimentos na mesma betonada;
- c) não se usem diferentes concretos na mesma placa.

Para os concretos pré-misturados confeccionados fora do canteiro da obra, os cuidados relativos ao armazenamento e outros devem ser fiscalizados na usina fornecedora.

## 2.1.2 Agregados

### 2.1.2.1 Agregado miúdo

A areia natural quartzosa é a mais indicada, embora areias artificiais também venham sendo empregadas com sucesso, desde que provenientes do britamento de rochas não alteradas.

A dimensão máxima característica do agregado miúdo é de 4,8 mm, não se admitindo grãos menores do que 0,075 mm; ele deverá satisfazer as prescrições da NBR 7211 (Ref. 12), recomendando-se as granulometrias das Zonas 2 e 3, denominadas  *fina*  e  *média* , reproduzidas no  *Quadro 2* .

Entenda-se que a recomendação que se faz no  *Quadro 2*  é de ordem geral e ditada pela observação de resultados práticos, que não se aplicam a casos especiais, em regiões faltas ou carentes de agregados miúdos que nele se enquadrem.

QUADRO 2 - Limites granulométricos de agregado miúdo, recomendados para concretos de pavimentação (adaptados da Ref. 7)

Peneira ABNT (mm)	Porcentagem retida acumulada, em massa	
	Zona 2 (fina)	Zona 3 (média)
9,5	0	0
6,3	0 - 7	0 - 7
4,8	0 - 10	0 - 11
2,4	0 - 15 <sup>a</sup>	0 - 25 <sup>a</sup>
1,2	0 - 25 <sup>a</sup>	10 <sup>a</sup> - 45 <sup>a</sup>
0,6	21 - 40	41 - 65
0,3	60 <sup>a</sup> - 88 <sup>a</sup>	70 <sup>a</sup> - 92 <sup>a</sup>
0,15	90 <sup>b</sup> - 100	90 <sup>b</sup> - 100

NOTAS:

a) toleram-se até 5 pontos porcentuais, para mais ou para menos, em um só dos limites marcados ou distribuídos em vários deles.

b) no caso de agregado artificial, o limite pode ser de 80%.

A ocorrência de areias da Zona 4 ( *grossas* ) é reduzida e seu uso no concreto de pavimentação deve ser acompanhado de correções da porosidade, por exemplo, com o emprego de incorporadores de ar. As areias da Zona 1 ( *muito finas* ) requerem, para economia no custo do concreto, correção com areias artificiais ou aditivos plastificantes, por exemplo.

### 2.1.2.2 Agregado graúdo

É o pedregulho ou a pedra britada proveniente de rochas estáveis, ou a mistura de ambos, com graduação granulométrica entre 50 mm e 4,8 mm<sup>(\*)</sup>.

A dimensão máxima característica do agregado graúdo é função da espessura da placa de concreto, recomendando-se que não exceda 1/4 desta, nem 50 mm, obedecido o valor menor.

Devem ter preferencialmente dimensões e forma regulares, ser de arestas bem definidas e de superfície rugosa, que facilite a aderência pasta-agregado — de grande papel no estabelecimento da resistência do concreto à tração na flexão. Os seixos rolados naturais têm sido utilizados comumente, embora possam exigir consumos de cimento mais elevados para alcançar as resistências que os concretos produzidos com agregados britados atingem com menor teor do aglomerante, nas mesmas condições de trabalhabilidade e consistência.

É difícil estabelecer na prática faixas granulométricas *ideais* ou *ótimas* para os agregados graúdos nos concretos destinados aos pavimentos. A título exclusivamente de informação mostra-se, no *Quadro 3*, um exemplo típico de graduação recomendada nos EUA (pela *American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO M43-82*) e na República Federal da Alemanha (pelo *Forschungsgessellschaft für das Strassenwesen e. V.*), para agregado graúdo com dimensão máxima característica igual a 38 mm.

QUADRO 3 - Faixa granulométrica recomendada pela AASHTO e pelo *Forschungsgessellschaft für das Strassenwesen e. V.*, para agregado graúdo com dimensão máxima característica de 38 mm

Peneira ABNT (mm)	Porcentagem passando, em massa (%)
38	95 - 100
19	35 - 70
9,5	10 - 30
4,8	0 - 5

(\*) Para concretos de pavimentação.

Recomenda-se que o valor de abrasão *Los Angeles*, determinado conforme a Referência 13, não ultrapasse os 55%. Nos casos de pistas de aeródromos ou de alta velocidade, deverão ser tomadas medidas capazes de impedir o polimento superficial, seja pela adoção de um valor de abrasão inferior ao mencionado, seja por um tipo de terminação superficial que garanta a necessária resistência à derrapagem.

Algumas indicações práticas para o bom uso do agregado graúdo:

- a) os agregados de tipos e procedência diferentes, devidamente identificados, deverão ser depositados em plataformas onde não haja possibilidade de se misturarem com outros agregados ou com materiais estranhos que lhes prejudiquem a qualidade;
- b) a estocagem deverá ser feita em camadas, admitindo-se a formação de pilhas cônicas quando o sistema de alimentação evitar a queda livre; independentemente do processo de estocagem, este não deverá produzir alterações nas características do agregado;
- c) procurar usá-los saturados e superficialmente secos, de forma a evitar que absorvam a água da pasta de cimento que os contactar — o que prejudica a hidratação do cimento na interface e, conseqüentemente, reduz a aderência pasta-agregado e a resistência do concreto à tração na flexão.

### 2.1.3 Água

Deverá ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas, presumindo-se satisfatórias as águas potáveis e as que tenham pH entre 5,0 e 8,0. Os limites máximos para as substâncias deletérias potenciais — matéria orgânica em geral, resíduos sólidos, sulfatos, cloretos e açúcar — deverão obedecer ao especificado na Referência 1.

### 2.1.4 Aditivos

Embora de uso opcional, os aditivos químicos podem ter importante ação na melhoria das condições de trabalhabilidade, na diminuição da retratilidade e da permeabilidade, no incremento da resistência mecânica e na durabilidade do concreto.

Nas pavimentações de concreto os de emprego mais disseminado e conveniente são os *redutores de água* (também conhecidos como *plastificantes*), os *incorporadores de ar* e os *aceleradores de endurecimento*.

Resumida e simplificada, no concreto fresco:

- a) os redutores de água melhoram a trabalhabilidade, possibilitando a redução da relação água/cimento;
- b) os incorporadores de ar introduzem na massa uma certa quantidade de ar, sob a forma de minúsculas bolhas, melhorando a trabalhabilidade e reduzindo a exsudação, a retração e a segregação;
- c) os aceleradores de endurecimento diminuem o tempo de pega, aumentam a retratilidade e o calor de hidratação.

No concreto endurecido, na mesma ordem:

- a) os primeiros aumentam a resistência mecânica aos 28 dias e a resistência ao desgaste;
- b) os segundos melhoram a resistência ao ataque de águas agressivas, diminuem a absorção e a permeabilidade e podem reduzir a resistência mecânica ao desgaste;
- c) os últimos conferem maior resistência mecânica nas primeiras idades, embora possam diminuí-la levemente nas idades posteriores.

Na falta de normas brasileiras sobre o assunto, recomenda-se adotar as prescrições da Referência 14.

## 2.2 Aço para Barras de Transferência e de Ligação

O aço para as barras de transferência às vezes previstas no projeto é obrigatoriamente liso, não se admitindo o aço especial. Já as barras de ligação podem ser alternativamente de um ou do outro tipo, desde que se tome a precaução óbvia de que o seu cálculo seja referido ao aço a ser efetivamente empregado. Em qualquer caso, obedeça-se à norma brasileira na fixação dos característicos exigíveis do material<sup>15</sup>.

## 2.3 Selante de Juntas e Material de Enchimento de Juntas de Dilatação

O selante deverá ser suficientemente aderente ao concreto, resistente à infiltração de água e à penetração de sólidos, sob quaisquer condições ambientais e de tráfego; em pavimentos sujeitos a derramamentos de combustível, óleo e outras substâncias agressivas, deverá ter resistência à ação solvente.

Poderá ser, quanto à natureza e ao tipo de aplicação, *moldado a quente*, *moldado a frio* ou *pré-moldado*.

Admitem-se como selantes a quente os mástiques elásticos bicomponentes, associações de um líquido viscoso (por exemplo, asfaltos de baixa penetração e emulsões asfálticas catiônicas) e um filer (cimento portland hidratado, cal apagada, calcário pulverizado etc.). Recomenda-se não empregar selantes deste tipo em juntas com menos de 10 mm de abertura (ou largura) do reservatório, posto que, nesses casos, a aplicação é muito difícil e traz freqüentemente prejuízos à limpeza, ao aspecto superficial, à qualidade e à eficácia da junta.

Os selantes a frio devem ser produtos industrializados, no máximo bicomponentes, aplicáveis à temperatura ambiente, tendo como constituinte básico resinas epoxílicas, polissulfetos orgânicos, uretanos, silicones ou polimercaptanos.

Os selantes pré-moldados serão, de preferência, poliuretanos, polietilenos, poliestirenos, cortiças ou borrachas.

Caso especial são os materiais de enchimento das juntas de dilatação. Se o projeto especificar que tenham função somente de preencher a parte inferior das juntas, podem-se usar fibras trabalhadas, borracha esponjosa e pinho-sem-nó devidamente tratado; quando se exija que também sirva, ao mesmo tempo, de selante da junta, os melhores materiais serão os produtos sintéticos pré-moldados, compressíveis e elásticos. O selante a ser colocado sobre o enchimento, no primeiro caso, deve ser compatível com a natureza deste, proibindo-se o uso de produtos vazados a quente sobre materiais suscetíveis a altas temperaturas.

Na falta de especificações brasileiras a respeito de selantes de juntas para pavimentos de concreto, recomenda-se consultar, se necessário, a referência 16.

## 2.4 Materiais para Cura

Podem ser empregados como materiais para cura do concreto, alternativa ou combinadamente, água, tecidos, lençóis plásticos e de papel betumado ou alcatroado, compostos químicos capazes de formar película plástica e materiais arenosos mantidos permanentemente umedecidos; em certas situações críticas de ambiência, deve-se complementá-los com coberturas móveis de lona.

### 2.4.1 Água

Deverá ser limpa e não conter substâncias que possam prejudicar a hidratação do cimento; *a priori*, as águas potáveis são adequadas.

### 2.4.2 Tecidos

Em geral, são tecidos de juta, cânhamo ou algodão. Deverão ser limpos, absorventes, sem furos ou rasgões e pesar 0,2 kg/m<sup>2</sup>, no mínimo.

### 2.4.3 Lençol plástico

Necessita ser flexível, liso e ter espessura de 0,5 mm, no mínimo.

### 2.4.4 Lençol de papel betumado

Exige-se que a quantidade de cimento asfáltico de petróleo (em certos casos, de alcatrão) nele contida seja superior a 60 g/m<sup>2</sup>; que pese, pelo menos, 200 g/m<sup>2</sup> e tenha um mínimo de 0,5 mm de espessura.

### 2.4.5 Compostos químicos

De preferência, de pigmentação branca ou bem clara, obedecendo às prescrições da Referência 17.

### 2.4.6 Material arenoso

Não deverá conter matéria orgânica de ação deletéria sobre o concreto, podendo ser areia ou pó-de-pedra, mantidos permanentemente umedecidos; seu uso fica restrito a obras de pequeno porte.

## 2.5 Materiais para Isolamento e Impermeabilização do Pavimento

Se especificados no projeto, o isolamento e a impermeabilização da fundação do pavimento (subleito ou sub-base) poderão ser conseguidos com o emprego de lençol plástico, de papel betumado ou de pintura betuminosa.

### 2.5.1 Lençóis plásticos ou de papel betumado

Ambos seguirão as recomendações já mencionadas para o seu uso como material de cura, diminuindo-se para 0,2 mm a espessura mínima recomendada.

### 2.5.2 Pintura betuminosa

Recomendada exclusivamente para uso sobre superfícies de acabamento bastante liso, poderá ser executada com emulsões asfálticas catiônicas de ruptura rápida ou de ruptura média.

## 3 PREPARO DA FUNDAÇÃO DO PAVIMENTO

### 3.1 Generalidades

Entende-se como fundação do pavimento de concreto o subleito e seu reforço (se existente), mais a sub-base quando adotada no projeto. As operações de preparo da fundação do pavimento consistirão de três fases, no máximo: regularização e compactação do subleito, construção de sub-base (se houver) e impermeabilização e isolamento da fundação.

### 3.2 Preparação do Subleito

Solos inadequados (de alta expansibilidade ou índice de suporte Califórnia igual ou inferior a 2%), blocos de pedra, raízes, pedaços de madeira ou de outros materiais putrescíveis deverão ser removidos até uma profundidade de 50 cm a 60 cm.

Tanto os solos de substituição quanto os que comporão aterros ou o reforço do subleito deverão cumprir especificações que lhes fixem a composição granulométrica, os índices físicos, as condições de compactação e o valor mínimo de suporte.

Nos casos em que não se preveja a construção de sub-base não bombeável e o subleito contenha finos plásticos, a granulometria dos solos de substituição ou de reforço deverá impedir que sofram o fenômeno de bombeamento, ou seja, a camada deverá ser capaz de impedir a expulsão dos finos plásticos quando saturados e sob a ação de cargas pesadas.

Em qualquer caso, recomenda-se que o grau de compactação do subleito e dos eventuais aterros ou reforço do subleito seja de 95%, no mínimo, considerada a massa específica aparente máxima seca alcançada na energia normal de compactação<sup>18</sup>.

Quando a área a ser compactada tiver uma das dimensões muito superior à outra, como nas pistas de estradas e de aeródromos, a experiência indica melhor resultado quando a compactação for procedida na direção da dimensão maior e iniciar-se das bordas para o meio da área.

Embora as especificações quanto à terminação da superfície da fundação possam variar de obra para obra, reconhecem-se como adequados os rigores constantes do *Quadro 4*.

QUADRO 4 - Tolerâncias recomendadas para o acabamento superficial da fundação do pavimento (Cf. Ref. 1)

	Erro máximo (cm)
Pontos individuais	$\pm 1,0$
Nivelamento	$\pm 1,5 \sqrt{L}$
	$L \rightarrow$ quilômetros

Terminada a preparação do subleito, faz-se o controle do valor de suporte.

Os pavimentos de concreto são dimensionados, quanto à capacidade portante da fundação, com o emprego do coeficiente de recalque (**k**), determinado em prova de carga estática que mede a relação entre cargas sucessivas e acumuladas, aplicadas a uma certa área restrita, e os deslocamentos verticais correspondentes<sup>19</sup>.

Raramente, no entanto, executa-se tal ensaio, a não ser em obras cujo vulto, porte ou importância torne-o imprescindível ou indispensável; a prática

corriqueira tem sido substituí-lo pelo ensaio de índice de suporte Califórnia (CBR), correlacionando-se a seguir este indicador com o valor provável de *k*. A Referência 20 mostra como fazê-lo, além de estender-se sobre o concreto e o significado do coeficiente de recalque.

### 3.3 Construção da Sub-base

Certas condições críticas — suporte heterogêneo ou inconstante, presença no subleito de finos plásticos ou de solos muito suscetíveis a variações volumétricas, região úmida ou sujeita a épocas de grandes chuvas, cargas elevadas ou de tráfego intenso — requerem, nos projetos modernos de pavimentos de concreto, a construção de sub-base estável, de material não bombeável e homogêneo.

As funções, tipos e especificações da sub-base, importantíssimas por ajudarem a garantir o bom comportamento e a durabilidade do pavimento como um todo, são expostas e amplamente discutidas na Referência 21.

A sub-base deverá exceder de 50 cm para cada lado, no mínimo, a largura total da pista concretada, o que contribuirá para reduzir as tensões nas bordas longitudinais livres das placas de concreto e, principalmente quando o equipamento de pavimentação for do tipo de fôrmas deslizantes (ver seção 4), constituirá uma excelente plataforma de trabalho para as rodas ou lagartas da máquina.

Quanto mais lisa e desempenada a superfície da sub-base, menores serão os riscos de fissuração inesperada do concreto, devida à restrição de sua movimentação por retração nas primeiras horas após a concretagem.

Recomenda-se que a tolerância quanto às cotas de projeto, quando verificadas pela régua de 3 m de comprimento, seja de  $\pm 5$  cm para diferenças localizadas.

No caso exclusivo de uso do equipamento reduzido ou sobre fôrmas-trilhos, a inspeção pode ser feita, após a fixação das fôrmas laterais, pela passagem do chamado *gabarito de fundo de caixa* (ver seção 4).

### 3.4 Impermeabilização e Isolamento da Fundação

Nos projetos modernos de pavimentos de concreto é boa prática garantir que a fundação:

- a) não absorva a água de amassamento do concreto;
- b) não impeça a movimentação horizontal do concreto, devida à retração volumétrica inicial.

Para tanto, deve-se colocar sobre a fundação terminada lençóis de plástico ou de papel betumado ou, se a superfície acabada for fechada, pouco absorvente e lisa, aplicar-lhe uma pintura betuminosa, numa taxa de aspersão entre 0,8 l/m<sup>2</sup> e 1,6 l/m<sup>2</sup>.

Os lençóis deverão sobrepor-se de, pelo menos, 10 cm no sentido longitudinal e 30 cm nas extremidades transversais, tomando-se cuidado para que não sofram rasgos ou furos durante a instalação, nem se desloquem da posição antes da concretagem; quando usado equipamento reduzido ou de fôrmas-trilhos (ver seção 4), deverão cobrir verticalmente pelo menos 10 cm das faces internas das fôrmas.

Se não se especificar nenhum dos três tipos de cobertura para a fundação, deve-se cuidar para que esta esteja suficientemente umedecida antes do lançamento do concreto, sem que se formem, entretanto, poças ou acumulação de água na superfície.

Em qualquer caso, com o emprego ou não de lençóis ou pintura, a superfície a receber o concreto deverá estar limpa, isenta de detritos, pedras, pó ou outras sujidades.

#### 4 EQUIPAMENTOS DE CONSTRUÇÃO

Esta publicação tratará de três tipos diferentes de equipamentos de construção de pavimentos de concreto:

- a) equipamento reduzido;
- b) equipamento sobre fôrmas-trilhos;
- c) equipamento de fôrmas deslizantes.

As técnicas de execução que se aplicam aos dois primeiros são bastante similares entre si; o último sistema difere muito deles, desde os característicos do concreto que emprega até o acabamento, passando pela produtividade específica. Serão aqui descritos pormenorizadamente.

#### 4.1 Equipamento Reduzido (Figura 1)

Entende-se como equipamento reduzido de concretagem o que se utiliza basicamente de:

- a) fôrmas de contenção lateral do concreto, preferencialmente metálicas (Figura 2), embora podendo ser de madeira ou mistas (Figura 3);
- b) vibradores de imersão;
- c) régua vibratória, com motor a gasolina e de deslocamento manual (Figura 4);
- d) régua acabadora, de madeira (Figura 5);
- e) serra de disco diamantado (opcional) (Figura 6).

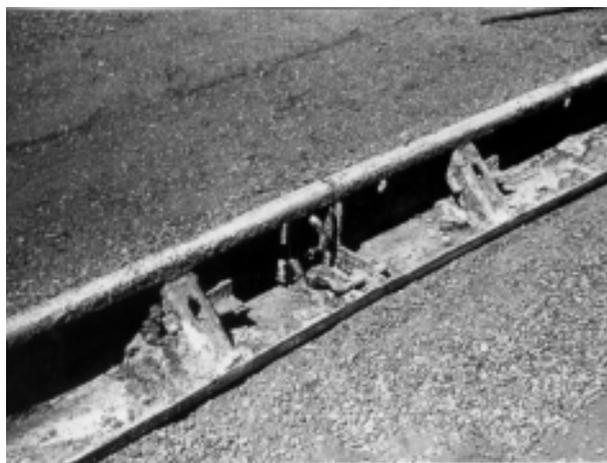
A produção desse conjunto varia, em geral, entre 300 e 400 m<sup>2</sup>/dia, equivalendo a cerca de 50 m<sup>3</sup> - 55 m<sup>3</sup> diários de concreto; a mão-de-obra requerida exclusivamente para a concretagem é de uns 20 operários com funções diversas. É aplicável a pavimentos com até 20 cm de espessura de concreto(\*).

Quando se usa essa espécie de equipamento é forçoso que a concretagem somente se faça *faixa-por-faixa*, ou seja, na largura máxima equivalente à de uma fileira de placas — o que corresponde, para pavimentos com espessuras da ordem de até 25 cm, a 3,5 m - 3,6 m, no máximo; aplica-se bem em obras de até 10.000 m<sup>3</sup> de concreto.



**FIGURA 1** - Equipamento reduzido

(\*) Conhecem-se inúmeros casos nos quais se conseguiu trabalhar eficientemente em 22 cm.



**FIGURA 2** - Fôrmas metálicas



**FIGURA 3** - Fôrmas de madeira ou mistas



**FIGURA 4** - Régua vibratória



**FIGURA 5** - Régua acabadora de madeira



**FIGURA 6** - Serra de disco diamantado

#### 4.2 Equipamentos sobre Fôrmas-trilhos (*Figura 7*)

De maior porte e produtividade que o anterior, esse equipamento de concretagem conta com as seguintes unidades:

- a) fôrmas-trilhos metálicas (*Figura 8*), para contenção do concreto fresco e servindo, ao mesmo tempo, como guias para a movimentação da unidade de adensamento, montada sobre rodas;
- b) distribuidora de concreto, regulável e com tração própria (*Figura 9*);

- c) vibradores de imersão;
- d) eixo rotor frontal (*Figura 10*);
- e) vibro-acabadora (*Figura 11*), dotada de bitola ajustável;
- f) acabadora diagonal ou não tubular ou oscilante (*Figura 12*), de bitola ajustável;
- g) serra de disco diamantado.

A capacidade do conjunto é normalmente superior a 40 m<sup>3</sup> de concreto por hora, o que pode resultar em produção média diária da ordem de 2.000 m<sup>2</sup> ou mais; não é raro ocorrerem casos em que se atinja até 150% sobre essa média.

Necessita-se de 15 a 18 operários para lidar com o equipamento.

No que se refere à largura de operação, dependerá do tipo de maquinário; a bitola varia de 3 m até 7,5 m e é ajustável, o que permite que com ele se pavimente tanto no sistema *faixa-por-faixa* quanto na largura normal de duas placas — isto é, entre 6 m e 7,5 m. A utilização econômica desse equipamento está na faixa de obras com volume de, pelo menos, 30.000 m<sup>3</sup>.



**FIGURA 7** - Equipamento sobre fôrmas-trilho



**FIGURA 8** - Fôrmas-trilho metálicas



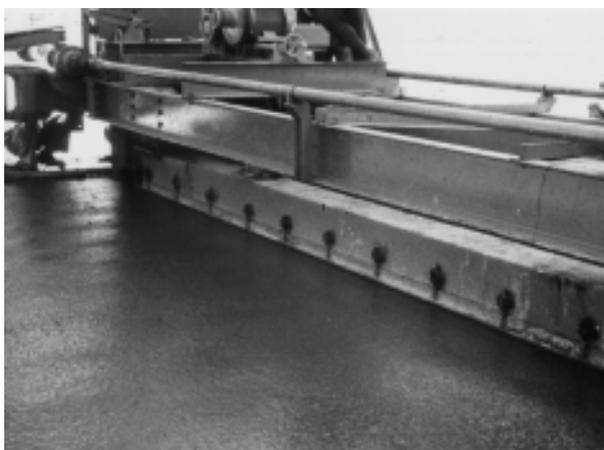
**FIGURA 9** - Distribuidora de concreto, regulável e com tração própria



**FIGURA 10** - Eixo rotor frontal



**FIGURA 11 - Vibro-acabadora**



**FIGURA 12 - Acabadora diagonal oscilante**

#### 4.3 Equipamento de Fôrmas Deslizantes (*Figura 13*)

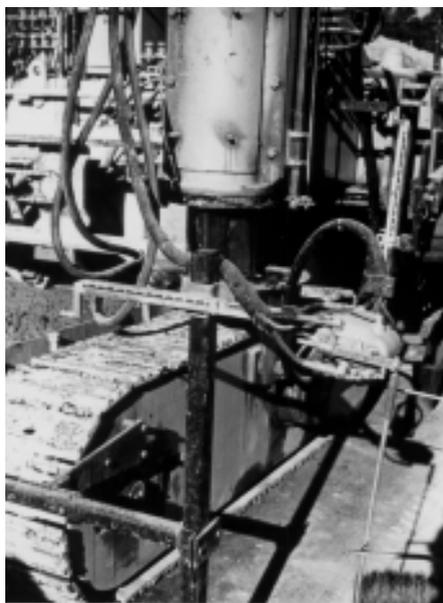
De concepção complexa, com elevada capacidade de produção, a pavimentadora de fôrmas deslizantes reúne em uma só unidade a recepção, a distribuição, a regularização, o adensamento e a terminação superficial do concreto, dispensando o emprego de fôrmas fixas, posto que, acopladas às laterais do equipamento vibratório, dispõe de contenções metálicas para o concreto em execução (*Figura 14*), que deslizam em sintonia com a máquina. A estrutura é montada sobre chassi de esteiras ou rodas pneumáticas (*Figura 15*), havendo ainda um sistema de controle eletrônico de direção e nivelamento por fio-guia (*Figura 16*).



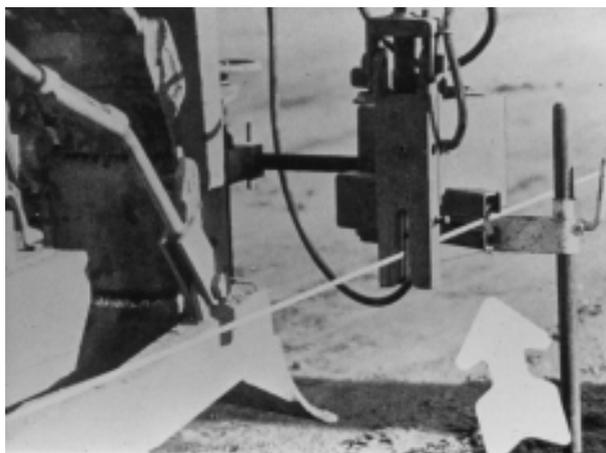
**FIGURA 13** - Equipamento de fôrmas deslizantes



**FIGURA 14** - Vista lateral da fôrma deslizante (assinalada pela seta)



**FIGURA 15** - Vista da esteira lateral do equipamento de fôrmas deslizantes



**FIGURA 16** - Sistema de controle eletrônico de direção e nivelamento por fio-guia

Tem-se, então, como configuração típica desse equipamento<sup>(\*)</sup>.

- a) pavimentadora de fôrmas deslizantes, incluindo caçamba receptora e distribuidora regulável, vibração de alta frequência, régua acabadora oscilante, régua finalizadora e apalpadores eletrônicos;
- b) serra de disco diamantado.

Os modelos existentes em nosso País são de tamanho médio, de capacidade similar um pouco superior ao do equipamento sobre fôrmas-trilhos descrito anteriormente; requerem, no entanto, menor mão-de-obra — cerca de 10 operários.

Têm bitola regulável até 7,5 m e operam nas mesmas condições de largura de concretagem do sistema de fôrmas fixas. O seu emprego é indicado, em termos de utilização econômica, somente nas obras de 50.000 m<sup>3</sup> ou mais; o equipamento é importado, sem similar nacional.

## 5 CONCRETAGEM DO PAVIMENTO

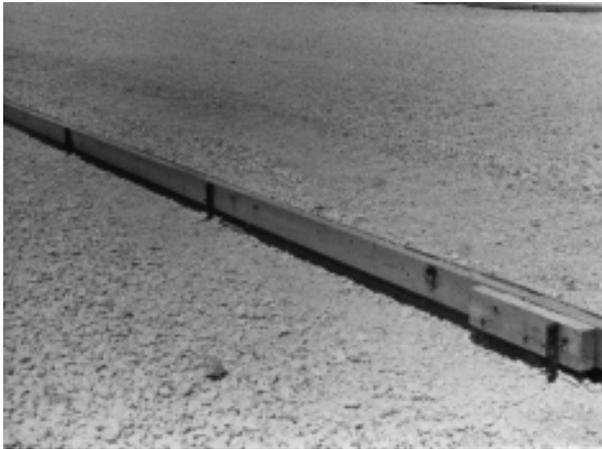
### 5.1 Assentamento de Fôrmas (*Figuras 17a e 17b*)

As fôrmas laterais que servem de contenção do concreto, guia e apoio do equipamento de construção do pavimento (à exceção do de fôrmas deslizantes) devem ser rígidas, direitas e desempenadas, recomendando-se que sejam metálicas; só se admite o uso de fôrmas mistas de metal e madeira em obras de pequeno volume, construídas com equipamento reduzido.

Em feitura de **L**, a base da fôrma deve ter no mínimo 20 cm de largura, para pavimentos de até 20 cm de altura; peças mais altas requerem largura no mínimo igual à altura. A base terá furos ou dispositivos, intervalados de 1 m, no máximo, que garantam a fixação do conjunto na superfície a concretar; essa fixação faz-se em geral com ponteiros de aço ou de ferro, tomando-se especial precaução quanto à correta posição das extremidades na união de duas fôrmas seqüentes (*Figura 18*).

---

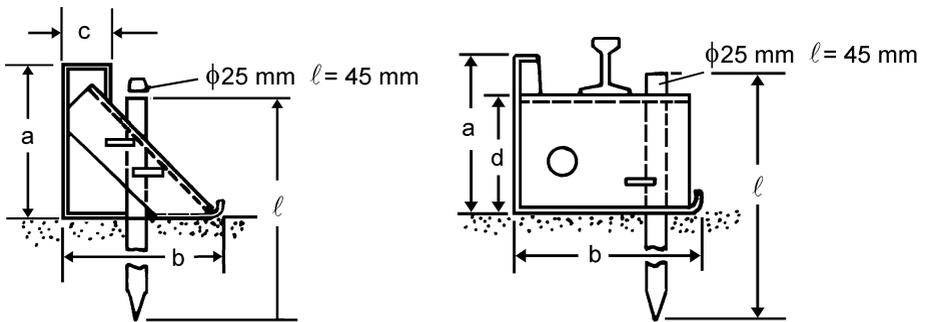
(\*) Existem outras configurações.



**FIGURA 17a** - Assentamento de fôrmas



**FIGURA 17b** - Assentamento de fôrmas



**FIGURA 18** - Esquema da fixação das fôrmas com ponteiros de aço ou de ferro

O apoio das fôrmas na fundação deve ser contínuo e integral. Usar somente calços colocados transversalmente a elas é causa primordial de futuras ondulações na superfície do pavimento, posto que o trânsito do equipamento provocará a flexão das fôrmas entre os calços. É fundamental que, no ato de colocação das fôrmas, as irregularidades de apoio sejam corrigidas com calços e, em seguida, preencham-se os vazios entre a base da fôrma e a fundação do pavimento com uma argamassa fraca de cimento e areia (sugere-se uma proporção, em massa, de 1:8).

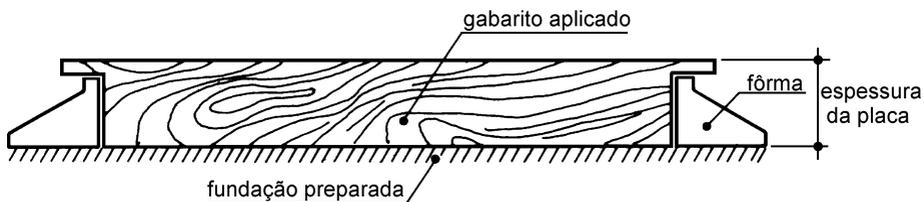
O assentamento das fôrmas deve obedecer aos alinhamentos longitudinais e transversais determinados por marcos providos de centros de referência, postados a cada 40 m de ambos os lados da pista, nos trechos em tangente; a distância recomendada nas curvas é de 10 m, no máximo.

Qualquer correção quanto ao alinhamento e o nivelamento das fôrmas — ou seja, quando forem verificados desvios altimétricos superiores a 3 mm ou diferenças planimétricas maiores do que 5 mm com relação ao projeto — deve ser procedida antes do lançamento do concreto.

Assentadas as fôrmas, segue-se a verificação do fundo da caixa com um gabarito que, nelas apoiado, detecte as necessárias correções na fundação (*Figura 19*); somente após os eventuais acertos a superfície poderá receber o material de isolamento e impermeabilização, quando especificado.

Antes da concretagem as fôrmas devem estar limpas e untadas com óleo ou pintura apropriada, que facilite posteriormente sua retirada.

Não se deve permitir o tráfego de veículos ou equipamento sobre a superfície pronta da fundação, após o assentamento das fôrmas e a colocação do material de cobertura da fundação.



**FIGURA 19** - Gabarito de fundo de caixa

## 5.2 Confeção do Concreto(\*)

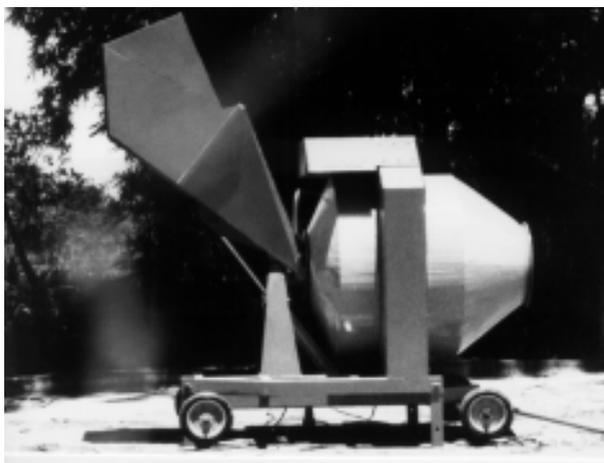
Na maioria das obras de pavimentação de rodovias e aeródromos, o concreto é confeccionado em usinas centrais (*Figura 20*). Em empreendimentos de menor porte, com o uso de equipamento reduzido, a fabricação do concreto dá-se em betoneiras isoladas (*Figura 21*), ou emprega-se o concreto pré-misturado fora da obra (*Figura 22*); esta última solução é alternativa das mais utilizadas em pavimentações urbanas ou de sistemas viários de indústrias.

De qualquer modo, independentemente do tipo de instalação, sua capacidade deve ser compatível com a máxima produtividade do equipamento de concretagem do pavimento e o concreto fabricado precisa atender aos requisitos de qualidade especificados, tanto no estado fresco como no endurecido (ver seção 2).



**FIGURA 20** - Usina central para concreto

(\*) Colaborou o Eng<sup>o</sup> Públio Penna Firme Rodrigues, do Departamento de Projetos.



**FIGURA 21** - Betoneiras isoladas (cortesia CIBI)



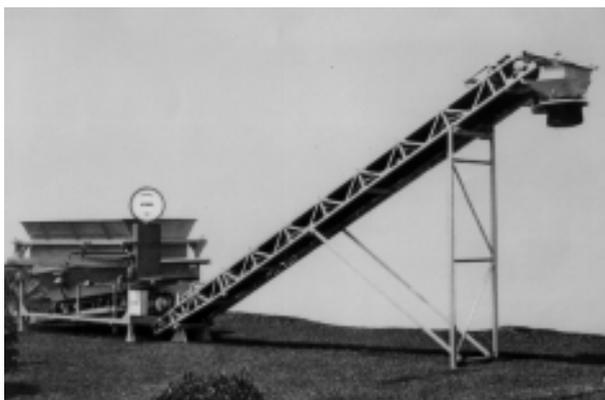
**FIGURA 22** - Concreto pré-misturado fora da obra (cortesia ABESC)

### 5.2.1 Equipamentos

Os equipamentos para a produção do concreto variam em ampla faixa, desde as betoneiras manuais de pequeno porte até as centrais automáticas, dependendo obviamente do volume total da concretagem e da demanda horária de concreto, a qual pode variar aproximadamente desde 5 m<sup>3</sup> a 6 m<sup>3</sup> por hora, quando se utiliza equipamento reduzido, até 70 m<sup>3</sup> por hora ou mais, no caso das pavimentadoras de fôrmas deslizantes.

Quando a produção requerida for inferior a 10 m<sup>3</sup> por hora, não é viável a instalação de centrais dosadoras, sendo preferível a utilização de concreto pré-misturado; isto não sendo possível, pode-se utilizar uma ou mais misturadoras de obra, com capacidade nominal de 750 litros ou 1.000 litros e produção horária efetiva de 4 m<sup>3</sup> a 6 m<sup>3</sup> de concreto.

As mesmas misturadoras, quando acopladas a alimentadores e balanças dosadoras de agregados (até quatro granulometrias diferentes) e cimento (*Figura 23*), podem usar de 15 m<sup>3</sup> a 20 m<sup>3</sup> por hora, com qualidade tão boa como das misturas produzidas pelas centrais automáticas, trazendo ainda a vantagem de serem facilmente transportáveis.



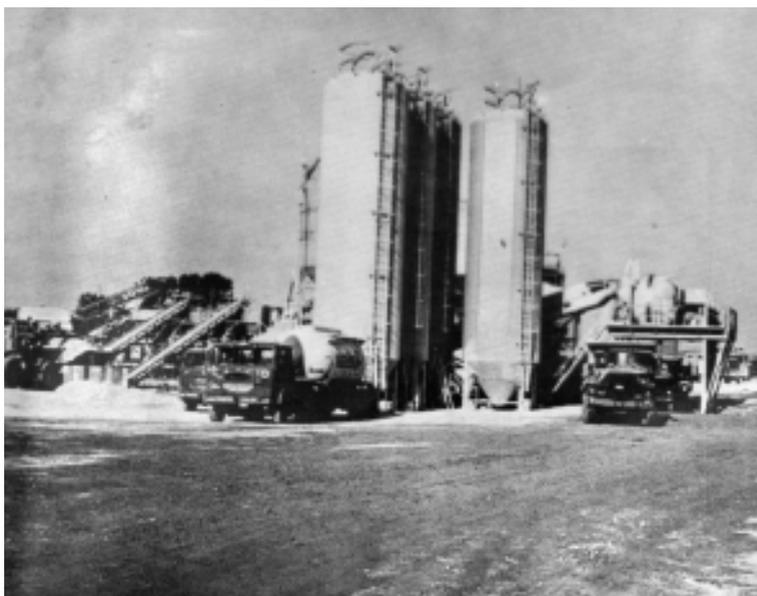
**FIGURA 23** - Misturador acoplado a alimentador e balança dosadora (cortesia CIBI)

Outro equipamento bastante utilizado pela sua simplicidade é a central dosadora, alimentada por pá-carregadora e que necessita trabalhar conjugada com caminhão-betoneira, por não possuir misturador (*Figura 24*); sua produção é da ordem de 30 m<sup>3</sup> por hora.

Para obras de maior porte são utilizadas centrais equipadas com betoneiras do tipo contracorrente (*Figura 25*), capazes de fornecer 50 m<sup>3</sup> por hora de concreto, ou mais.



**FIGURA 24** - Central dosadora alimentada por pá-carregadora (cortesia CIBI)



**FIGURA 25** - Centrais equipadas com betoneiras do tipo contracorrente

## 5.2.2 Produção do concreto

A produção do concreto envolve as operações de medição e de mistura dos materiais.

### 5.2.2.1 Medição dos materiais

A medição dos materiais depende do tipo de central de concreto, podendo ser gravimétrica, quando é executada em massa, ou volumétrica, quando a medida das quantidades de agregados é feita em volume.

A medição volumétrica só é admissível em pequenas obras; mesmo nesses casos, o cimento deve ser medido em massa, admitindo-se que os sacos tenham 50 kg. Deve-se determinar a curva de inchamento da areia e fazer a correção do seu volume, de acordo com o teor de umidade no instante da mistura. O erro máximo admissível na medição volumétrica dos agregados é de  $\pm 3\%$ .

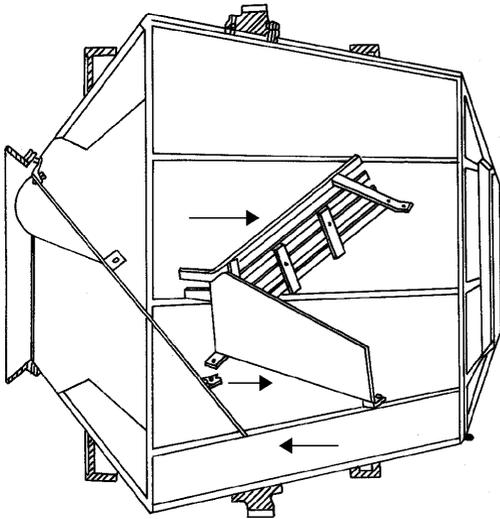
A medição gravimétrica dos materiais deve ser conduzida de forma a garantir as seguintes tolerâncias:

- cimento:  $\pm 1\%$ ;
- água:  $\pm 1\%$ ;
- agregados:  $\pm 2\%$ ;
- aditivos:  $\pm 3\%$ .

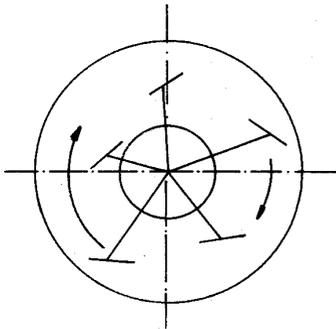
As balanças utilizadas devem ter precisão mínima de 0,4% de sua capacidade total. Uma alternativa para a quantificação da água é o emprego de hidrômetros, desde que garantam precisão de  $\pm 1\%$  no volume; pode ser adotada para a água a massa específica de 1.000 kg/m<sup>3</sup>.

### 5.2.2.2 Mistura dos materiais

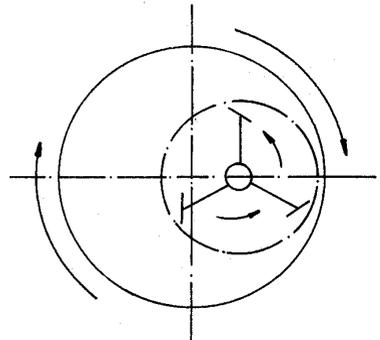
Pode ser de dois tipos: por *tombamento* (Figura 26) ou *forçada* (Figura 27). A primeira faz-se com misturadoras de eixo horizontal ou inclinado; os tambores possuem aletas internas que erguem os materiais, deixando-os cair do ponto mais alto. As misturadoras forçadas são geralmente de eixo vertical, existindo também modelos com eixo horizontal.



**FIGURA 26** - Corte de tambor de betoneira típica

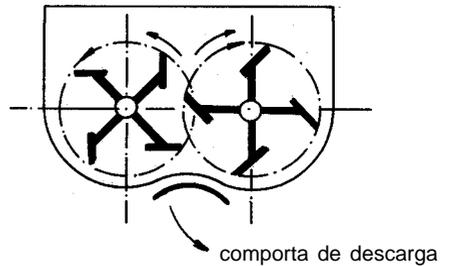


a) Eixo vertical - tambor fixo (vista de cima)



b) Eixo vertical - tambor giratório (vista de cima)

c) Eixo horizontal (vista de frente)



**FIGURA 27** - Sistemas de mistura forçada contracorrente

As misturadoras forçadas costumam ser mais eficientes do que os demais tipos, resultando na economia de materiais — principalmente de cimento. A qualidade do concreto produzido, que se avalia pelo grau de homogeneidade, depende não apenas do tipo da mistura mas, também, do tempo de processamento e da forma como os materiais são lançados na misturadora.

O tempo ótimo da mistura deve ser determinado experimentalmente com os materiais e a misturadora que serão utilizados na obra. Como primeira estimativa podem-se usar os valores do *Quadro 5*.

QUADRO 5 - Tempo mínimo recomendado para a mistura dos materiais, em função da capacidade da misturadora

Capacidade da misturadora (m <sup>3</sup> )	Tempo mínimo recomendado de mistura (min:seg)
até 1,5	1:30
2,5	2:00
3,0	2:30
4,0	2:45
4,5	3:00

Os materiais devem ser colocados na seguinte ordem:

- todo o agregado graúdo e parte da água;
- todo o cimento;
- toda a areia e o restante da água.

Entre essas etapas deve-se acionar o misturador por alguns segundos ou mantê-lo ligado durante a colocação dos materiais.

Aditivos líquidos, se usados, devem ser lançados juntamente com a água de amassamento do concreto; quando em pó, introduzidos juntamente com o cimento.

A homogeneidade da mistura pode ser verificada com ensaios físicos do concreto, tomando-se uma amostra no começo e outra no fim da descarga; as diferenças máximas admissíveis (para mais ou para menos) são:

- abatimento: 1 cm ou 20% da média aritmética;
- teor de agregado graúdo: 6%;
- teor de cimento: 7%;
- resistência à compressão aos 7 dias: 7,5% da média aritmética;
- massa específica: 16 kg/m<sup>3</sup>.

### 5.3 Transporte

Das alterações que o transporte pode causar no concreto, um grupo delas é função primordialmente do tipo de veículo — as de natureza *mecânica* (segregação dos materiais, por exemplo), resultantes das vibrações do próprio meio de transporte e que podem ser combatidas escolhendo-o convenientemente; dois outros dependem principalmente do tempo decorrido entre o amassamento do concreto e o início da concretagem do pavimento — são de ordem *física* (evaporação da água) ou *química* (início de pega, por exemplo) e devem ser evitados com a fixação de limites para o tempo de transporte ou o uso apropriado de aditivos.

O meio de transporte mais conveniente para o concreto é o caminhão basculante do tipo *dumpcrete*, cujo formato e as chicanas internas de que dispõe conservam-no homogêneo, sem que se dê a segregação dos materiais; os caminhões-betoneiras também são usáveis, exigindo que a distância percorrida seja de pequena monta.

Já os caminhões basculantes comuns requerem cuidados extremados no transporte — que deve ser o mais curto possível — e não devem ser empregados quando se tratar de concretos mais úmidos ou com baixos teores de agregado graúdo.

Seja qual for o meio de transporte empregado, o essencial é que faça chegar à obra um concreto pouco alterado com relação ao saído da misturadora.

É possível tornar mínimas as alterações físicas e químicas, reduzindo experimentalmente o tempo de transporte até um espaço de tempo dentro do qual não ocorram variações significativas nos característicos do concreto; o limite máximo gira, em geral, em torno dos 30 minutos. Claro está que em certos canteiros — com grandes distâncias de transporte e caminhos de serviço em más condições de tráfego, por exemplo — ou em épocas muito quentes ou

ventosas, a simples diminuição do tempo de transporte pode tornar-se inviável na prática ou não ser suficiente para eliminar os efeitos deletérios; nesses casos, a incorporação de aditivo retardador de pega resolve a questão, permitindo a ampliação do tempo entre a mistura do concreto e o começo da concretagem (recomenda-se, no entanto, que esse tempo seja sempre inferior a 60 minutos); cobrir a caçamba do veículo com uma lona pode impedir a rápida e indesejável perda de água por evaporação.

Ao empregar aditivos, tenham-se em mente as considerações da seção 2.1.4 desta publicação.

#### 5.4 Lançamento

Independentemente do tipo de equipamento de pavimentação que se empregue, a maneira recomendada de lançar o concreto é por descarga lateral (*Figura 28*), seja quando se constrói faixa-por-faixa, seja nos casos de concretagem de toda a largura da pista. Admite-se o retrolançamento — ou seja, postado o veículo de ré e à frente do equipamento (*Figura 29*) — somente quando esse tráfego não prejudicar a qualidade da superfície preparada para receber o concreto.

Deve-se colocar o concreto de modo que não sejam formadas pilhas de grande altura e que se reduza o trabalho de espalhá-lo, o que contribuirá para diminuir a segregação de seus componentes durante a última operação.



**FIGURA 28** - Lançamento de concreto por descarga lateral



**FIGURA 29** - Retrolançamento do concreto, ou seja, postado o veículo de ré e à frente do equipamento

## 5.5 Espalhamento

Na pavimentação com equipamento reduzido, o espalhamento é mais comumente feito com pás, ancinhos e rodos (*Figura 30*).



**FIGURA 30** - Espalhamento manual do concreto

Com o equipamento sobre fôrmas-trilhos o melhor resultado é conseguido pelo espalhamento mecânico, às vezes auxiliado por ferramentas manuais e evitando-se sempre a segregação dos materiais.

A pavimentadora de fôrmas deslizantes recebe e distribui mecanicamente o concreto (*Figura 31*).



**FIGURA 31** - Recepção e distribuição mecânica do concreto pela pavimentadora de fôrmas deslizantes

Seja qual for o processo de espalhamento, dele deve resultar uma camada de concreto solto contínua, homogênea e de altura constante, de forma que, após as operações de adensamento e acabamento, a espessura de qualquer ponto das placas seja a mesma prevista no projeto, dentro das tolerâncias admitidas.

## 5.6 Adensamento

Não importando de que tipo de equipamento de pavimentação se utilize, no adensamento do concreto deve-se cuidar que:

- a) o grau de densificação do concreto seja o mais elevado e constante possível em toda a área em pavimentação;
- b) as bordas longitudinais, cantos e outras juntas recebam cuidados especiais, que não permitam a formação de vazios ou ocós:

- c) na existência de barras de transferência, armadura de retração, caixas de inspeção e outras interferências no pavimento, tomem-se as mesmas precauções para evitar inadequada ou insuficiente densificação:
- d) os vibradores de imersão tenham tamanho e potência compatíveis com a espessura de concreto a vibrar e sejam introduzidos e retirados da massa o mais verticalmente que se possa, nunca se deixando que atinjam o fundo da caixa.

A seqüência de operações de adensamento é a que se descreve a seguir, para cada tipo de equipamento:

- a) Equipamento reduzido (*Figura 32*)
  - aplicação dos vibradores de imersão;
  - aplicação da régua vibratória.

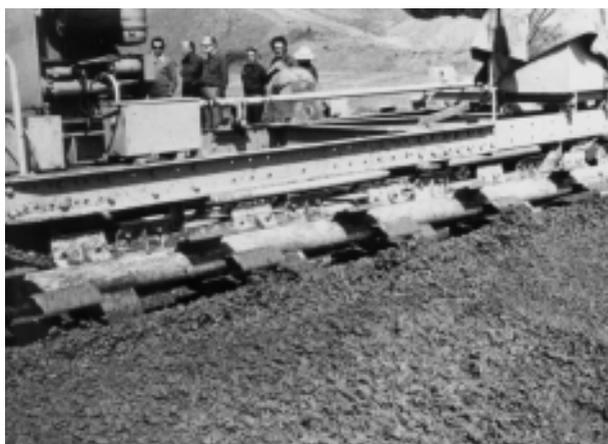


**FIGURA 32** - Equipamento reduzido

- b) Equipamento sobre fôrmas-trilhos
  - aplicação dos vibradores de imersão (*Figura 33*);
  - regularização da superfície com o eixo rotor frontal ou dispositivo equivalente (*Figura 34*);
  - aplicação da vibro-acabadora (*Figuras 35a e 35b*);



**FIGURA 33** - Equipamento sobre fôrmas-trilhos — aplicação dos vibradores de imersão



**FIGURA 34** - Equipamento sobre fôrmas-trilhos — regularização da superfície com o eixo rotor frontal

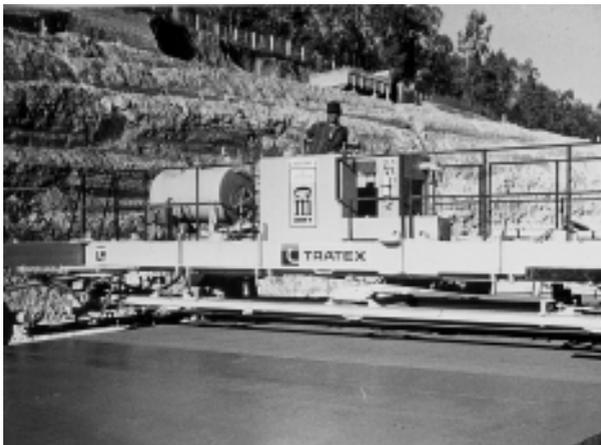


**FIGURA 35a** - Equipamento sobre fôrmas-trilhos — aplicação de vibro-acabadora isolada do conjunto



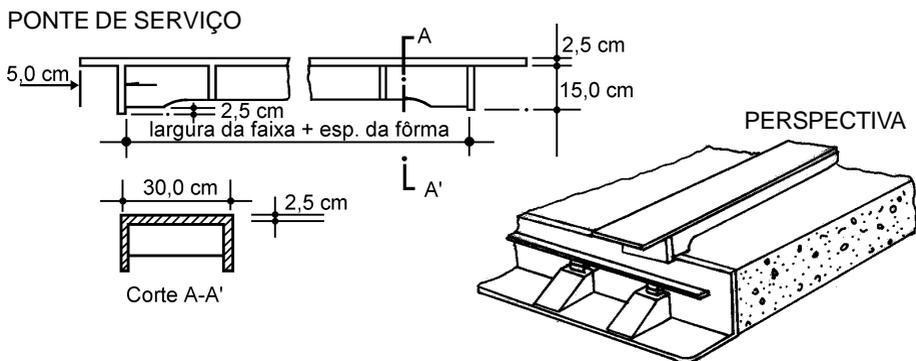
**FIGURA 35b** - Equipamento sobre fôrmas-trilhos — aplicação de vibro-acabadora acoplada ao conjunto

- c) Equipamento de fôrmas deslizantes (*Figura 36*) – a pavimentadora desse tipo faz, em uma só passada, todo o conjunto de operações necessárias para adensar o concreto.



**FIGURA 36** - Equipamento de fôrmas deslizantes

Não se deve permitir nessa fase o trânsito de operários sobre o concreto, seja antes ou depois do adensamento, pela possibilidade de serem introduzidos detritos e elementos estranhos no material e ser prejudicada a própria operação do equipamento; por isso, recomenda-se usar pontes de serviço (*Figura 37*), que possibilitem a movimentação do pessoal sobre a pista em construção. Nos equipamentos sobre fôrmas-trilhos e de fôrmas deslizantes há passadiços para tanto.



**FIGURA 37** - Esquema de pontes de serviço

Qualquer depressão observada após o adensamento deverá ser imediatamente corrigida com concreto fresco, jamais se permitindo o uso de argamassa para esse fim.

Independentemente do tipo de equipamento, deve-se operá-lo de forma contínua, com o menor número possível de paradas. Para isso, deve haver uma completa coordenação entre o adensamento e a produção, o transporte, o lançamento e o espalhamento do concreto, de modo que o progresso da pavimentação tenha boa uniformidade e constância.

Tratando-se dos equipamentos mecanizados, é preciso que se detenha a ação dos vibradores de imersão sempre que seja necessário paralisar o trabalho da vibro-acabadora.

Quando se especificar a abertura das juntas transversais pelo processo de moldagem, é logo após a passagem da unidade vibratória que se executa a inserção do perfil metálico no concreto fresco (ver seção 6.2.2).

## 5.7 Acabamento

Enquanto o concreto recém-adensado encontrar-se ainda plástico, verifica-se o nivelamento da superfície com uma régua de 3 m de comprimento, disposta paralelamente ao eixo longitudinal do pavimento e avançando de cada vez em movimentos de vaivém de, no máximo, metade de seu comprimento (*Figura 38*); a verificação deve dar-se em toda a largura concretada.



**FIGURA 38** - Nivelamento da superfície com a régua de 3 m de comprimento

Depressões encontradas serão imediatamente preenchidas com concreto fresco — jamais com argamassa ou pasta de cimento —, rasadas e adensadas, enquanto que as saliências serão cortadas e niveladas.

Sempre que a superfície estiver muito úmida, deve-se tirar o excesso d'água com rolos leves cobertos de borracha (*Figura 39*).



**FIGURA 39** - Aplicação de rolos leves cobertos de borracha, para a eliminação do excesso d'água superficial

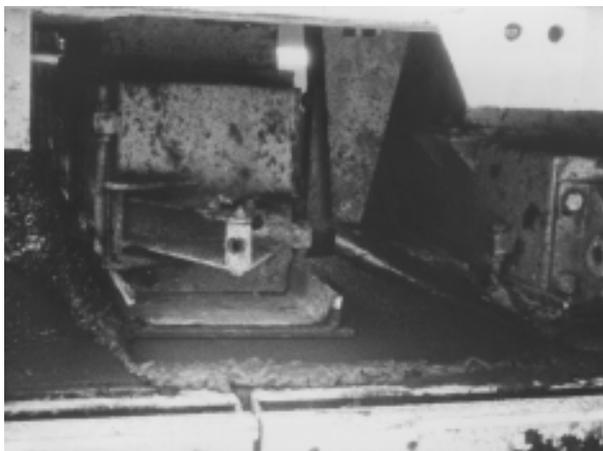
Somente depois das correções e assim que o brilho superficial devido à umidade começar a desaparecer é que se procederá ao acabamento final.

Na concretagem com equipamento reduzido, o acabamento é dado pela régua acabadora de madeira (*Figura 40*), que progride em zigzeague e é operada manualmente.



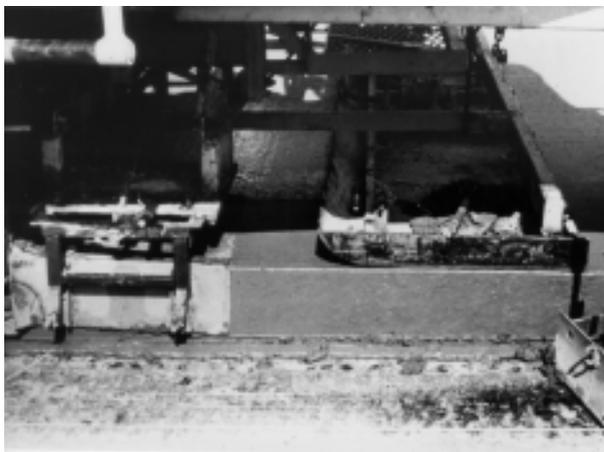
**FIGURA 40** - Régua acabadora de madeira (assinalada pela seta)

A pavimentadora sobre fôrmas-trilhos executa essa operação com a acabadora, diagonal ou não (*Figura 41*).



**FIGURA 41** - Régua acabadora do equipamento sobre fôrmas-trilhos

O equipamento de fôrmas deslizantes produz o acabamento com o concurso de uma régua acabadora oscilante ou fixa, seguida da régua finalizadora flutuante (*Figura 42*).



**FIGURA 42** - Régua finalizadora flutuante

Durante e imediatamente após o acabamento mecânico, não importando que tipo de equipamento tenha sido usado, procede-se ao acerto das bordas longitudinais e à terminação superficial do concreto (*Figuras 43a, 43b e 43c*).



**FIGURA 43a** - Acabamento superficial e acerto das bordas longitudinais



**FIGURA 43b** - Acabamento superficial e acerto das bordas longitudinais



**FIGURA 43c** - Acabamento superficial e acerto das bordas longitudinais

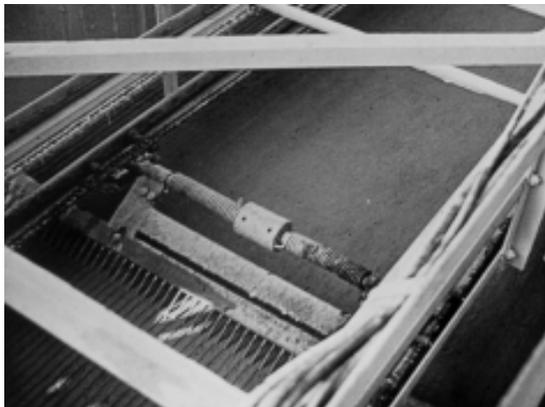
O acerto das bordas longitudinais é feito no concreto fresco por corte, aplicando-se para isso desempenadeiras de borda curva que arredondam as laterais da faixa concretada e retiram o excesso de material.

A superfície do pavimento deve ser plana e desempenada; entretanto, não pode ser lisa, o que a faria opor baixa resistência à derrapagem, tanto quando seca como quando úmida. A terminação superficial — última fase das operações de concretagem propriamente ditas — procura dar ao pavimento uma certa

rugosidade superficial, que aumente o atrito entre ele e os pneumáticos dos veículos, servindo também como uma espécie de *microdrenagem*, que evite a formação de lâminas d'água capazes de produzir a perda total de aderência entre o veículo e a superfície de rolamento (*hidroplanagem*).

Há diferentes processos que permitem criar essa superfície antiderrapante. Todos eles produzem, de uma forma ou de outra, estrias retilíneas ou sinuosas no concreto, de profundidade e largura como se queira, com resultados diferentes no estabelecimento da desejada aderência e segurança. Em ordem decrescente de eficácia, eis os instrumentos normalmente empregados:

- a) *pentes* de fios metálicos não flexíveis (*Figuras 44a e 44b*);



**FIGURA 44a** - Aplicação do *pente* de fios metálicos não flexíveis

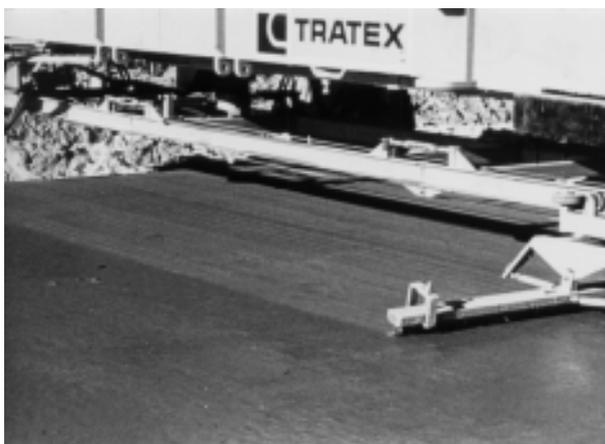


**FIGURA 44b** - Superfície do concreto fresco após a passagem do *pente* de fios metálicos não flexíveis

- b) vassouras de fios metálicos flexíveis;
- c) *pentas* de fios de náilon (*Figuras 45a e 45b*);



**FIGURA 45a** - *Pente* de fios de náilon



**FIGURA 45b** - Aplicação do *pente* de fios de náilon

- d) tubos cilíndricos metálicos providos de mossas e saliências (*Figura 46*);



**FIGURA 46** - Aplicação do tubo cilíndrico metálico provido de mosas e saliências

e) vassouras de piaçava (*Figuras 47a e 47b*);



**FIGURA 47a** - Aplicação da vassoura de piaçava



**FIGURA 47b** - Superfície resultante da aplicação da vassoura de piaçava

- f) tiras ou faixas de lona (*Figuras 48a e 48b*).



**FIGURA 48a** - Aplicação da tira ou faixa de lona no sentido longitudinal da pavimentação



**FIGURA 48b** - Superfície resultante da aplicação da tira ou faixa de lona

No Brasil os mais conhecidos são justamente os dois últimos. A norma brasileira<sup>1</sup> sugere que em áreas críticas, como as pistas de aeródromos, a terminação superficial seja dada com dispositivos capazes de incrementar de muito a segurança quanto à derrapagem, o que remete aos três ou quatro primeiros tipos citados.

A terminação será executada assim que desaparecer o brilho superficial e antes que ocorra o início de pega do concreto.

Nos casos em que as juntas transversais sejam formadas pela inserção de perfil metálico no concreto fresco, este é o momento de retirá-lo e, com a desempenadeira curva, arredondar as bordas da junta recém-moldada.

## 6 JUNTAS

### 6.1 Generalidades

O papel das juntas nos pavimentos de concreto simples é essencial ao seu bom comportamento futuro; são os *pontos fracos* dos pavimentos e, como tal, requerem precauções e precisão tanto no projeto — que estabelece o tipo e a locação delas — quanto quando da sua materialização na obra.

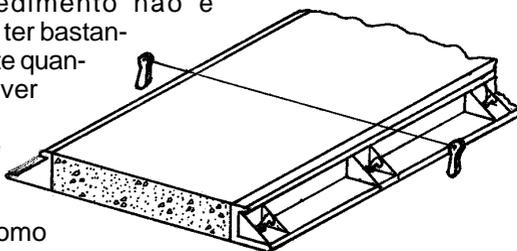
Esta publicação divide-as e classifica-as conforme a posição (*transversais e longitudinais*) e a função (de *retração*, de *construção*, de *articulação* e de *expansão*), seguindo as informações da Referência 22.

### 6.2 Juntas Transversais de Retração

As juntas transversais de retração combatem o aparecimento de fissuras devidas à retração volumétrica do concreto, mormente à retração hidráulica ocorrente durante a passagem do estado plástico (concreto fresco) para o estado elástico (concreto endurecido). Deverão ser retilíneas em toda a sua extensão e em toda a largura do pavimento; serão também perpendiculares ao eixo longitudinal deste, a não ser em raras situações particulares indicadas no projeto.

Independentemente do processo de construção da junta, é vital para o seu correto funcionamento que a profundidade da ranhura formada seja compatível com a espessura do pavimento; supõe-se adequado o projeto que preveja profundidade de junta transversal entre 1/4 e 1/6 dessa espessura, analisado cada caso em particular.

A prática mais recomendada para a locação das seções onde serão executadas as juntas é por medidas topográficas, devendo ser determinadas as posições futuras por pontos fixos estabelecidos nas duas margens da pista (*Figura 49*). Também é usual marcar as posições sobre as fôrmas estacionárias (nos equipamentos reduzidos e sobre fôrmas-trilhos) ou por medições sucessivas (nas fôrmas deslizantes); o procedimento não é desaconselhado, embora deva-se ter bastante cuidado ao fazê-lo, principalmente quando haja barras de transferência (ver seção 6.3) nas juntas transversais, posto que uma locação errada pode prejudicar o funcionamento do dispositivo de transmissão de carga, da própria junta e do pavimento como um todo.



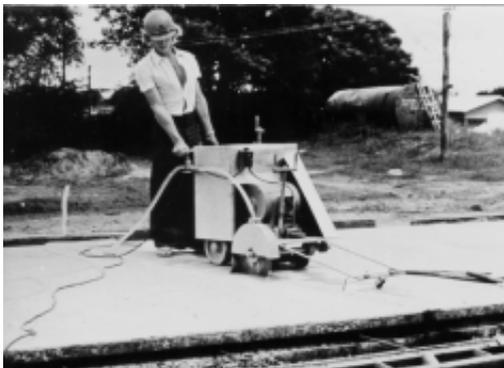
**FIGURA 49** - Marcação do local da futura junta serrada, por pontos fixados nas duas margens da pista

A formação desse tipo de juntas pode dar-se de duas maneiras distintas, cuja especificação deve ser estabelecida no projeto do pavimento: *moldadas* no concreto fresco ou *serradas* no concreto semi-endurecido; as seções seguintes tratam do assunto.

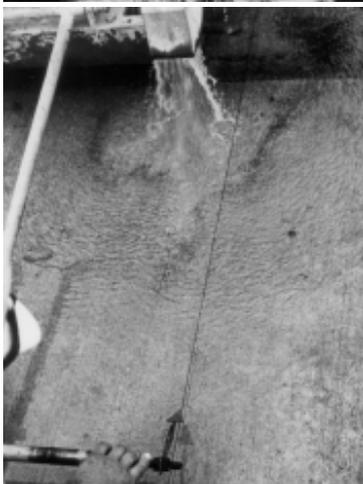
### 6.2.1 Serradas

As principais precauções a tomar quando se trata da construção da junta transversal de retração serrada são descritas a seguir:

- a) a operação de corte (*Figuras 50a e 50b*) deve dar-se no concreto semi-endurecido, mas antes que se inicie efetivamente o processo de fissuração hidráulica (*Figuras 51 e 52*); por outro lado, o corte no concreto ainda *verde* geralmente faz com que se soltem partículas de agregado graúdo, prejudicando o acabamento da junta e sua durabilidade;



**FIGURA 50a** - Operação de corte da junta transversal



**FIGURA 50b** - Detalhe da operação de corte da junta

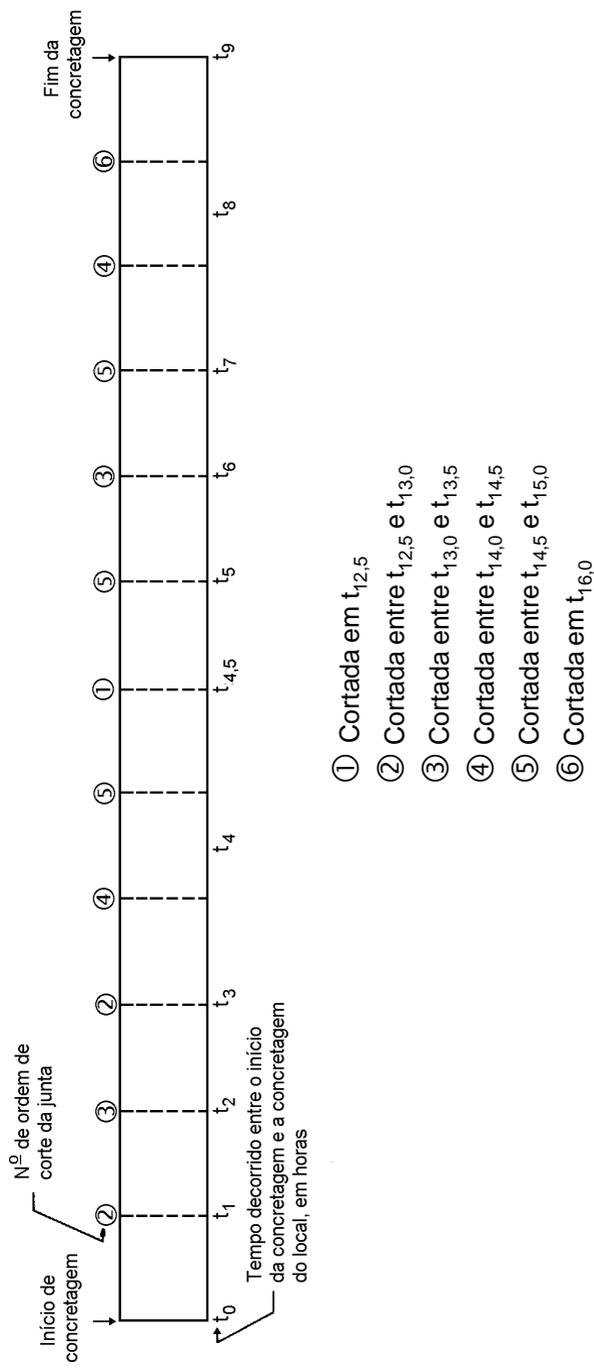


**FIGURA 51** - Junta transversal de retração recém-aberta por corte com serra



**FIGURA 52** - Junta transversal de retração serrada, vendo-se a fissura de retração já estabelecida

- b) o momento correto para a aplicação da serra pela primeira vez num pano recém-construído é função das características de consistência do concreto quando fresco, de permeabilidade da fundação e da ambiência; deve ser determinado para cada obra, em experimentação prática; regra geral, pode-se afirmar com certa segurança que a abertura da primeira junta de um trecho raramente se dará antes de 5 a 6 horas nem mais de 14 a 15 horas depois do término da concretagem, sendo essencial, de qualquer modo, tratar de estabelecer um *plano de corte*, no qual se fixe esse tempo e a ordem de abertura das juntas (Figura 53).



**FIGURA 53** - Exemplo hipotético de plano de corte para as juntas transversais de retração, com tempo mínimo de aplicação da serra após 8 horas da concretagem do local

### 6.2.2 Moldadas (Figura 54)

As juntas ditas moldadas formam-se pela inserção temporária de um dispositivo especial no concreto fresco, na posição indicada no projeto; posteriormente, a ferramenta é retirada da massa.



**FIGURA 54** - Juntas moldadas

Deve-se ter cautela tanto durante a introdução quanto quando da retirada do perfil moldador (de preferência, metálico); a inserção deve ser feita por vibração e não por choques sucessivos, enquanto que, ao retirá-lo, cuidadosamente, deve-se cuidar que o concreto já tenha perdido o brilho superficial. As bordas superiores das paredes verticais da junta serão a seguir adoçadas com a desempenadeira curva, de modo a eliminar as quinas irregulares e dar acabamento aceitável à junta pronta.

### 6.3 Barras de Transferência

Em certas situações de projeto é necessário dotar as juntas transversais de retração de um dispositivo artificial que, reduzindo a tendência da junta sob carga ao deslocamento vertical diferenciado (ou seja, o lado carregado da junta *afundar* mais do que o lado descarregado) promova uma certa transferência de carga de uma para a outra placa que formam a junta, aliviando-a e, por isso, melhorando-lhe o comportamento estrutural e a durabilidade.

As barras de transferência, que cumprem essa função específica, devem ser obrigatoriamente de aço, lisas e retas. Para permitir a movimentação da junta quando das futuras variações térmicas, terão uma de suas metades pintada ou engraxada ou, ainda, revestida com material também capaz de impedir a aderência entre o aço e o concreto. Serão dispostas ao longo da junta transversal, espaçadas conforme disposto no projeto (*Figura 55*); a norma brasileira<sup>1</sup> admite as seguintes variações no alinhamento delas:



**FIGURA 55** - Barras de transferência dispostas ao longo da futura junta transversal

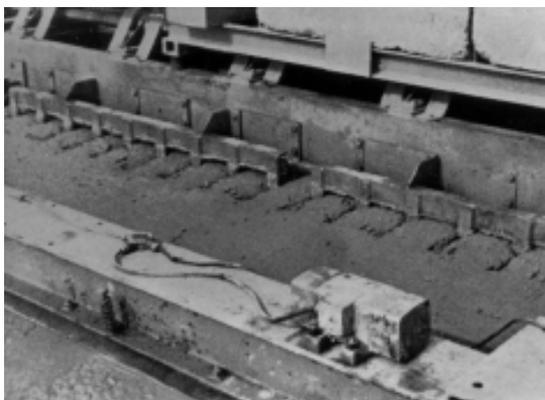
- a) o desvio máximo admissível das extremidades de uma barra em relação à posição prevista no projeto, para qualquer direção, será de  $\pm 1\%$  do comprimento da barra, exceto uma barra em cada 3,6 m de junta;
- b) ao mesmo tempo, no mínimo em dois terços das barras de uma junta o valor máximo admissível para o citado desvio será de  $\pm 0,7\%$  do comprimento de uma barra, também para qualquer direção.

A colocação das barras de transferência pode ser procedida alternativamente de duas maneiras: previamente ou posteriormente à concretagem. No primeiro caso, usam-se armações de apoio para o dispositivo — os *caranguejos* — que devem ser afixados com grampos metálicos à fundação, de maneira que permaneçam firmes e virtualmente indelocáveis quando das operações de lançamento, espalhamento e adensamento do concreto (*Figura 56*); o outro procedimento exige uma unidade mecânica especial, que *empurra* por vibração as barras no concreto já pré-adensado e requer, a seguir, a passagem sobre o

local da régua acabadora (*Figura 57*). A rigor, no Brasil emprega-se exclusivamente o procedimento de prévia colocação do dispositivo.



**FIGURA 56** - Esquema de dispositivo de apoio (*caranguejos*) para as barras de transferência (tipo usado em pavimentos de, no mínimo, 30 cm de espessura)



**FIGURA 57** - Colocação das barras de transferência posteriormente à concretagem

#### 6.4 Juntas Longitudinais

As juntas longitudinais são divididas neste texto em dois tipos: de *construção* e de *seção enfraquecida*, com ou sem barras de ligação (ver seção 6.5). A definição dada no projeto deve tomar em conta que espécie e bitola de equipamento serão empregados na construção do pavimento, posto que quase sempre predominarão os de pequena largura máxima de concretagem — forçando a execução *faixa-por-faixa*, a qual obriga, por sua vez, que a junta longitudinal seja de construção. Somente quando o equipamento de concretagem possibilitar a construção de duas faixas de placas por vez, pelo menos, é que se poderá projetar a junta longitudinal de seção enfraquecida. As duas seções seguintes descrevem a técnica e os cuidados de execução dos dois tipos de junta longitudinal.

#### 6.4.1 De construção

Pode ser de *encaixe* (ou *macho-fêmea*) ou de *topo* (ou *seca*), sendo esta última admitida somente em pavimentos de pouca importância ou submetidos a condições muito favoráveis de tráfego, fundação e ambiência.

A junta de construção de encaixe (*Figura 58*) é obtida — no caso mais comum, quando se empregam os equipamentos reduzidos e sobre fôrmas-trilhos — pelo uso de fôrmas dotadas de uma peça afixada ao longo de sua face lateral interna e que tem o perfil do encaixe projetado; após a concretagem, retira-se a fôrma no tempo adequado (ver seção 5.1), pintando-se então a face lateral, com material que impeça a sua aderência ao concreto da futura faixa que lhe ficará adjacente, para cuja execução ela própria servirá, por sua vez, de fôrma.



**FIGURA 58** - Junta de construção de encaixe

Certas pavimentadoras de fôrmas deslizantes podem executar automaticamente a junta de encaixe, bastando agregar-se à fôrma móvel um dispositivo especial com o perfil projetado; no Brasil, no entanto, inexistente no momento(\*) esse recurso.

Já a junta de topo, se aplicável, requer somente uma fôrma longitudinal de face interna retilínea e lisa, sem a adaptação do dispositivo de formação do *macho-fêmea*; nas fôrmas deslizantes, elas mesmas já deixam a seção vertical desejada.

---

(\*) agosto de 1985.

#### 6..4.2 De seção enfraquecida

Há dois processos para a formação de uma junta longitudinal de seção enfraquecida: moldagem no concreto fresco (*Figura 59*) e serrada (*Figura 60*) no concreto semi-endurecido, ambos já descritos quando se tratou da construção das juntas transversais de retração (ver seção 6.2). As medidas acautelatórias e os procedimentos de construção lá mencionados são os mesmos neste caso, recomendando-se que a profundidade da ranhura esteja entre um quarto e um terço da espessura de concreto; lembra-se ainda que o período entre o fim da concretagem e o corte da junta pode ser mais dilatado, posto que o estabelecimento das condições críticas que propiciam a formação da fissura longitudinal — devida principalmente às variações térmicas e higroscópicas e apenas secundariamente à retração hidráulica — é bem mais lento do que no caso da fissuração devida exclusivamente a este último fenômeno.

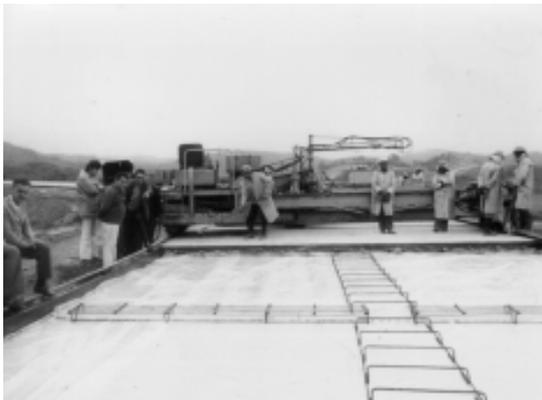


**FIGURA 59** - Junta longitudinal de seção enfraquecida moldada no concreto fresco



**FIGURA 60** - Junta longitudinal de seção enfraquecida serrada no concreto semi-endurecido

## 6.5 Barras de Ligação (Figura 61)



**FIGURA 61** - Barras de ligação

As barras de ligação compõem um mecanismo artificial que, introduzido na meia-seção de uma junta longitudinal, permite manter fortemente ligadas as faixas longitudinais contíguas de concretagem, impedindo-as de, em certas circunstâncias críticas, separarem-se no plano horizontal e darem origem a descontinuidades, por tudo indesejáveis na superfície de rolamento; além disso, a união colabora na transferência de carga entre as placas vizinhas, aliviando as tensões na região da junta.

Devem ser barras de aço de bitola, comprimento e espaçamento relativo previstos no projeto, limpas e isentas de óleo ou outras substâncias que dificultem ou impeçam a aderência entre elas e o concreto que as envolverá; não se faz restrição quanto ao tipo de aço, devendo, obviamente, ser obedecida a prescrição das plantas.

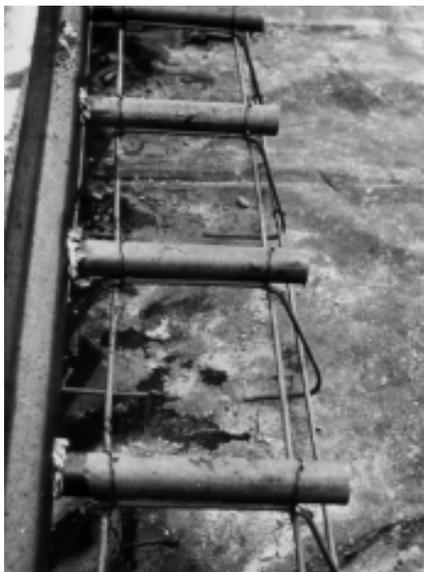
A colocação das barras de ligação (às vezes, chamadas *ligadores*) faz-se aqui no País exclusivamente por prévia instalação, ou seja, antes das operações de lançamento, espalhamento e adensamento do concreto<sup>(\*)</sup>; isto se dá, quase sempre, pela passagem das barras através de furos existentes ao longo das próprias fôrmas longitudinais — no caso dos equipamentos reduzidos e sobre fôrmas-trilhos — ou montadas em apoios feitos com arames e fios metálicos de pequena bitola (os já citados *caranguejos*) — quando se tratar de execução em toda a largura da pista e no caso das fôrmas deslizantes. Outros procedimentos podem ser admitidos além do que usa furos nas fôrmas, desde que se assegure o bom funcionamento do sistema em serviço.

(\*) No mercado internacional existem pavimentadoras que contêm uma unidade de pós-instalação dos ligadores, a exemplo do que acontece no caso das barras de transferência.

## 6.6 Juntas de Expansão

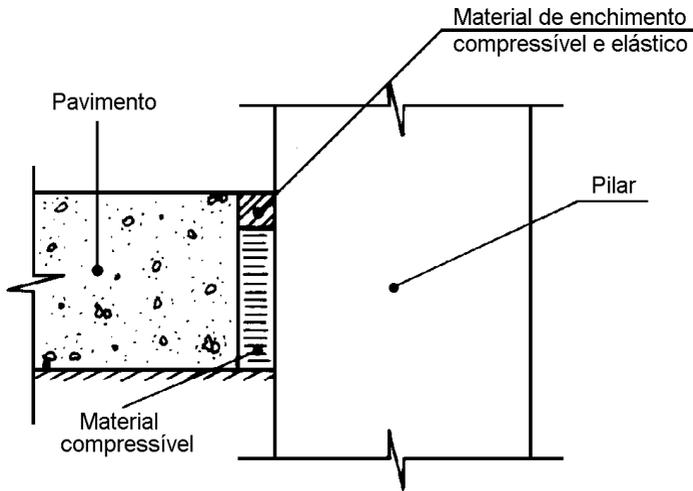
Com a função de controlar a movimentação longitudinal por dilatação do concreto em épocas de temperatura elevada, as juntas de expansão ou dilatação empregam-se exclusivamente em locais e situações especiais, como no encontro do pavimento com outras estruturas — por exemplo, pontes e viadutos — ou nos cruzamentos de vias assimétricas ou de larguras muito diferentes — uma pista de rolamento e outra de pouso, por exemplo.

A instalação das juntas de expansão com ou sem barras de transferência deverá ser iniciada à frente do ponto em que estiver sendo lançado o concreto, com antecedência bastante para sua perfeita execução. Deverão ser empregados sistemas de fixação que assegurem a permanência das barras de transferência em sua posição correta durante a concretagem (*Figura 62*) e a obtenção de juntas perpendiculares à superfície do pavimento em qualquer caso. O material de enchimento da parte inferior da junta (ver seção 6.8) deverá ser conformado de modo a assentar completamente no fundo da caixa, ficando o topo em todo o seu comprimento eqüidistante da superfície do pavimento. Nas posições indicadas no projeto, ele terá furos de diâmetro levemente maior que o das barras de transferência. A parte superior da junta, destinada a receber o material de selagem, será moldada com o emprego de uma peça adicional cujo topo deverá ficar nivelado com a superfície final do pavimento. O lançamento do concreto adjacente à junta será feito com pás, simultaneamente de ambos os lados, de modo a não deslocar



o dispositivo instalado para a confecção da junta. O adensamento será feito cuidadosamente ao longo de toda a junta, com vibradores de imersão. Os vibradores não deverão entrar em contato com o material de enchimento da junta, com as barras de transferência, nem com o fundo da caixa. Em certos casos especiais, a junta de expansão dispensa o uso de barras de transferência (*Figura 63*).

**FIGURA 62** - Instalação da junta de expansão com barras de transferência — sistema de fixação



**FIGURA 63** - Junta de expansão sem barras de transferência

Adensado o concreto adjacente à junta, procede-se ao acabamento mecânico da superfície com as necessárias precauções para que, à passagem do equipamento, a junta não seja desviada de sua posição.

## 6.7 Juntas de Construção

Dividem-se, quanto à posição, em *transversais* e *longitudinais*; estas confundem-se com as juntas longitudinais de encaixe já tratadas anteriormente e devem seguir as prescrições estabelecidas para elas (ver seção 6.4.1)

As juntas transversais de construção podem ser *planejadas* (Figuras 64a e 64b) ou *de emergência* (Figura 65): planejada é aquela cuja posição coincide com a de uma junta transversal de retração (ou seja, a placa que ela termina é inteiramente concretada e ela terá o comprimento previsto no projeto); de emergência diz-se da junta de construção que não coincide com uma junta de retração (isto é, fica locada no interior de uma placa, cujo comprimento é, então, menor do que o constante das plantas). É claro que a junta de emergência deve ser adotada toda vez que se paralise a concretagem por um período de tempo que possa prejudicar a futura aderência entre o concreto já lançado e o que se lançará a seguir; fatos comuns que podem acarretar esse acontecimento são, por exemplo, quebras mecânicas, acidentes pessoais, atraso na fabricação ou no transporte do concreto e chuvas torrenciais inesperadas.



**FIGURA 64a** - Instalação da junta transversal de construção *planejada*



**FIGURA 64b** - Junta transversal de construção *planejada* já executada



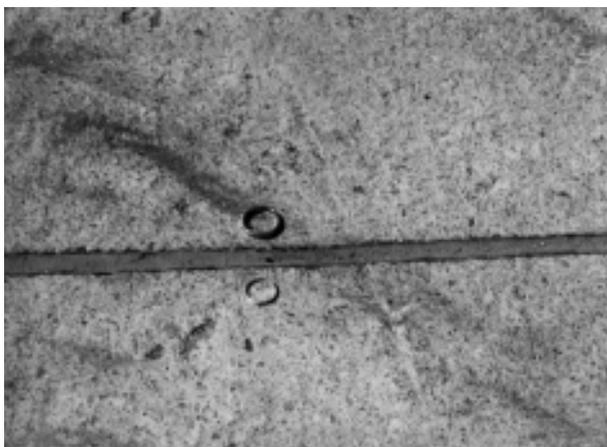
**FIGURA 65** - Junta transversal de construção *de emergência* já executada

A junta transversal de construção planejada recebe barras de transferência, inseridas na fôrma transversal de espera e com a metade que ficará livre apoiada em um gabarito especial, que evita o deslocamento da posição desejada. A junta transversal de construção de emergência dispõe de barras de ligação para evitar o aparecimento da fissura de separação dos dois panos — concretados na mesma placa, mas com certo tempo entre as duas operações.

#### 6.8 Selagem de Juntas (*Figuras 66, 67 e 68*)



**FIGURA 66** - Selagem de juntas



**FIGURA 67** - Selagem de juntas



**FIGURA 68** - Selagem de juntas

A selagem ou vedação tem a vital função de impedir a penetração de água e de sólidos através da junta.

Preliminarmente, os sulcos destinados a receber o material selante devem ser completamente limpos, empregando-se para isso ferramentas com ponta em cinzel que penetre na ranhura das juntas sem danificá-las, vassouras de fios duros e jato de ar comprimido.

No caso de selante aplicado a quente, a operação de aquecimento deverá ser cuidadosamente controlada com termômetro, de modo que a temperatura não se eleve a ponto de prejudicar as propriedades elásticas dele. A temperatura de aquecimento dos selantes betuminosos deve ser suficiente apenas para permitir que eles se tornem fluidos e apresentem boa consistência durante a aplicação e, posteriormente, adesividade ao concreto.

O material selante de qualquer tipo deve ser cautelosamente colocado no interior dos sulcos, não devendo respingar a superfície e ter quantidade suficiente para encher a junta sem transbordamento. Qualquer excesso deverá ser prontamente removido e a superfície limpa de todo material nela derramado. Após o resfriamento dos selantes a quente, qualquer insuficiência de material deverá ser eliminada, completando-se então o preenchimento do reservatório do selante.

Quando adotado no projeto o critério de formação de reservatório de selante pela inserção de material inerte no fundo da ranhura da junta, esta deverá receber o selante somente depois da colocação e fixação do referido inerte, devendo-se verificar a obediência do fator de forma previsto no projeto.

## 7 CURA

### 7.1 Generalidades

As funções da cura no concreto de pavimentação podem ser assim resumidas, em ordem de importância:

- a) impedir a evaporação rápida da água de amassamento;
- b) manter a temperatura do concreto razoavelmente próxima da temperatura ambiente<sup>(\*)</sup>;
- c) manter a temperatura razoavelmente uniforme ao longo da espessura da placa de concreto.

O período total de cura será de 28 dias, compreendidos o período inicial, de 72 horas após o acabamento final da superfície, e o período final, de 72 horas até os 28 dias. As faces laterais das placas, ao serem expostas pela remoção das fôrmas, deverão ser imediatamente protegidas, por meio que lhes proporcione condições de cura análogas às da superfície do pavimento.

---

(\*) Para temperaturas predominantes no Brasil.

## 7.2 Cura Inicial

O período inicial de cura abrangerá as primeiras 72 horas após o acabamento final da superfície, devendo a superfície do pavimento ser coberta com qualquer dos produtos mencionados na seção 2.4 ou combinações apropriadas desses materiais, imediatamente após a perda do brilho superficial do concreto. Quando a cura inicial se fizer por meio de tecidos (*Figuras 69a e 69b*), estes devem ser mantidos permanentemente umedecidos. Tanto para os tecidos quanto para o papel betumado e o lençol plástico (*Figura 70*), dever-se-ão superpor as tiras em, pelo menos, 10 cm; ocorrendo a necessidade de retirada desses materiais de algum local antes de 24 horas, a reposição deverá ser feita dentro de 30 minutos, no máximo.



**FIGURA 69a** - Cura inicial por meio de tecidos



**FIGURA 69b** - Cura inicial por meio de tecidos



**FIGURA 70** - Cura inicial por lençol plástico

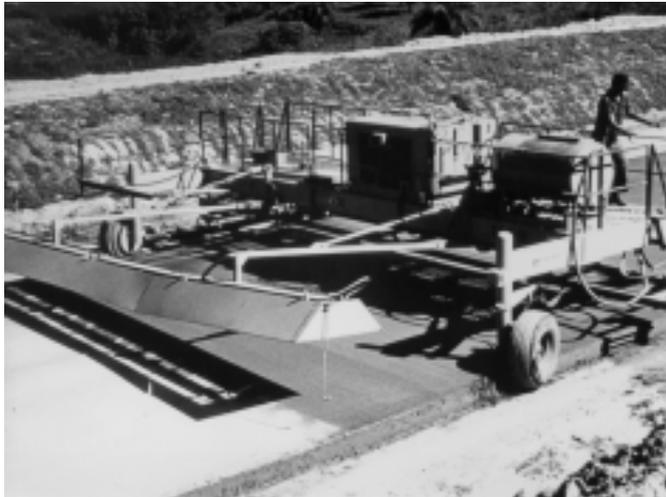
No caso de emprego de produto químico líquido (*Figura 71*), recomenda-se espalhá-lo uniformemente e com taxa igual ou superior a  $0,25 \text{ l/m}^2$  de superfície. A aplicação é feita, na imensa maioria das vezes, de forma manual (*Figura 72*), com pleno êxito, embora possa ser usado o procedimento automático, mecânico (*Figura 73*).



**FIGURA 71** - Cura inicial com emprego de produto químico líquido



**FIGURA 72** - Aplicação manual da cura com produto químico líquido



**FIGURA 73** - Cura inicial por aplicação automática (mecanicamente) de produto químico líquido

Uma boa ajuda à cura — mormente nas primeiras horas durante e após a concretagem — é o uso de *tetos móveis de lona* (*Figura 74*), que impedem a incidência direta dos raios solares na superfície do concreto. Em áreas ventosas, cuide-se, no entanto, que a estrutura não canalize o vento, o que poderia acelerar a evaporação da água e propiciar a formação de fissuras por retração plástica.



**FIGURA 74** - Tetos móveis de lona

### 7.3 Cura Final

Decorrido o período inicial de 72 horas, poderá ser mantido para a cura final o mesmo tipo de material até então utilizado; não sendo isso viável, pode-se empregar o processo de simples molhagem da superfície, operação que deve ser repetida tantas vezes por dia quantas exijam as condições de temperatura e vento, de modo a conservá-la permanentemente saturada de água.

É possível abreviar o período de cura final, desde que se use um dos procedimentos seguintes:

- a) adoção de sistemas especiais de cura, como o emprego de vapor quente ou de eletricidade, ambos não muito viáveis para pavimentos dos tipos aqui tratados (a não ser os industriais);
- b) adoção do processo de adensamento a vácuo, associado a algum dos sistemas de curas descritos (também mais adequado aos pavimentos industriais);
- c) emprego de aditivos aceleradores de resistência inicial do concreto ou, em casos especiais, de superplastificantes.

## 7.4 Cuidados Especiais de Cura em Condições Desfavoráveis de Clima

Na maior parte do ano predominam no Brasil médias das temperaturas mínimas anuais acima dos 18,5°C — em aproximadamente 94% da área total do País — e, em 6% apenas, da ordem dos 15,5°C, enquanto que as médias das máximas registradas variam de 24°C a 32°C (dados de 1982)<sup>(\*)</sup>. Isso demonstra que, de modo geral, a maior parcela de problemas de concretagem devidos a condições desfavoráveis de clima será ligada a altas temperaturas — mormente a questão da cura — embora em algumas raras ocasiões no extremo sul o inverso possa ser o observado.

De qualquer maneira, é preciso precaucionar-se quando dessas situações. A referência 23 traz amplas informações sobre a cura de pavimentos de concreto em clima quente, culminando por considerar a cura por molhagem de eficácia superior a qualquer dos outros sistemas, fornecendo sugestões para aumentar a capacidade de proteção deles nesse caso crítico de ambiência.

## 7.5 Proteção do Pavimento

Até o recebimento da obra pela fiscalização, o construtor será responsável pela sua vigilância e proteção, cabendo-lhe reparar ou reconstituir, a critério da fiscalização, as placas danificadas no período. Nos trechos ainda submetidos à cura inicial, sob nenhum pretexto será admitido o trânsito de pedestres, veículos e animais.

# 8 CONTROLE DE CONSTRUÇÃO

## 8.1 Controle das Resistências Mecânicas

A inspeção do concreto quanto à resistência mecânica será feita preferencialmente — mas não obrigatoriamente — pela medição da resistência à tração na flexão, em corpos-de-prova prismáticos confeccionados e curados conforme a NBR 5738 (*Figura 75*) e ensaiados conforme a ASTM C-78 (Refs. 3 e 4, respectivamente).

---

(\*) Ver *Anuário Estatístico do Brasil - 1983*, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Secretaria de Planejamento da Presidência da República, Rio de Janeiro, 1984.



**FIGURA 75** - Corpos-de-prova cilíndricos e prismáticos para o controle das resistências mecânicas

Nos casos em que a especificação da obra assim o determine, ou quando tenha sido estabelecida através de ensaios, para o concreto em questão, uma correlação matemática confiável entre as resistências à tração na flexão e à compressão simples, a inspeção poderá ser feita através desta última característica do concreto, com o ensaio de corpos-de-prova cilíndricos (*Figura 75*).

A norma brasileira<sup>1</sup> fixa que:

- a) os lotes onde se dará a inspeção do concreto não deverão ter mais de 500 m<sup>3</sup> nem corresponder a área pavimentada com mais de 2.500 m<sup>2</sup>;
- b) a cada lote de concreto corresponderá uma amostra com 32 exemplares, retirados de maneira que a amostra seja representativa do lote todo e que cada exemplar, por sua vez, represente um número inteiro de placas do pavimento, sendo cada exemplar composto por 2 corpos-de-prova da mesma betonada e moldados no mesmo ato, tomando-se como resistência do exemplar o maior dos dois valores de resistência obtidos no ensaio; permite-se que cada exemplar seja constituído de um só corpo-de-prova, desde que todas as operações de controle sejam feitas por pessoal e laboratório especializados;
- c) no caso de concreto pré-misturado, a amostra deverá conter pelo menos um exemplar de cada caminhão-betoneira recebido na obra;

- d) o valor estimado da resistência característica do concreto será dado por uma das seguintes expressões, dependendo do caso:

$$f_{ctM,est} = \bar{f}_{ctM,j} - 0,84 s$$

$$f_{ck,est} = \bar{f}_{cj} - 0,84 s$$

em que:

$f_{ctM,est}$  = resistência característica estimada do concreto à tração na flexão;

$f_{ctM,j}$  = resistência média de concreto da amostra à tração na flexão, na idade de “j” dias;

$f_{ck,est}$  = resistência característica estimada do concreto à compressão;

$\bar{f}_{cj}$  = resistência média do concreto da amostra à compressão, na idade de “j” dias;

s = desvio padrão da resistência média da amostra, à tração na flexão ou à compressão (conforme o caso).

Calculam-se:

$$f_{ctM,j} \quad \text{ou} \quad \bar{f}_{cj} = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{n-1} + f_n}{n}$$

$$s = \left[ \frac{\sum (\bar{f}_j - f)^2}{n - 1} \right]^{0,5}$$

sendo:

$f, f_1, f_2 \dots f_{n-1}, f_n$  = resistência de um determinado exemplar;

n = número de exemplares, igual a 32.

Nos casos em que não forem obedecidos os critérios para a aceitação do lote quanto à resistência (ver seção 3) será extraída uma amostra de, no mínimo, 6 testemunhos prismáticos ou cilíndricos (conforme o caso), que corresponderão a um máximo de 100 m<sup>3</sup> de concreto ou a um máximo de 500 m<sup>2</sup> de área pavimentada, sendo a sua extração, preparo e ensaio efetuados conforme a NBR 7680, onde aplicável a pavimentos, no caso de testemunhos cilíndricos<sup>24</sup>, e conforme a ASTM C-42 no caso de testemunhos prismáticos<sup>25</sup>. A resistência característica estimada de cada amostra assim obtida será dada por uma das expressões, conforme o caso:

$$f_{ctM,est} = \bar{f}_{ctM,j} - ts$$

$$f_{ck,est} = \bar{f}_{cj} - ts$$

onde os símbolos têm os mesmos significados já descritos e  $t$  é uma variável que permite, para número de testemunhos menor do que 32 e os respectivos graus de liberdade, manter o mesmo nível de confiança de 80%, sendo seus valores fixados no *Quadro 6*.

QUADRO 6 - Valores de  $t$ , em função do número de graus de liberdade

$n$	$v$	$t_{0,80}$
30	29	0,854
25	24	0,857
20	19	0,861
18	17	0,863
15	14	0,868
12	11	0,876
10	9	0,883
9	8	0,889
8	7	0,896
7	6	0,906
6	5	0,920

Admite-se que se aumente de 10% ou 15% o valor estimado da resistência característica calculada, conforme o número de corpos-de-prova alcance, respectivamente, até 17 ou pelo menos 18, em virtude de se tratar da resistência do concreto na própria estrutura.

## 8.2 Controle de Espessura

Recomenda a norma brasileira<sup>1</sup>, sobre o controle de espessura do concreto:

- a) será verificada por medição direta da altura de testemunhos cilíndricos extraídos das placas de concreto ou por meio de medidas topográficas altimétricas;
- b) o lote onde se fará a verificação de espessura das placas de concreto não deverá ser maior do que 500 m<sup>3</sup> de concreto nem corresponder a mais de 2.500 m<sup>2</sup> de área pavimentada;
- c) cada lote será composto por uma amostra de, no mínimo, 6 testemunhos cilíndricos, extraídos do pavimento conforme a NBR 7680, onde aplicável, de pontos estabelecidos pela fiscalização, ou de 6 medidas topográficas altimétricas de pontos contidos no lote e determinados pela fiscalização.

A espessura média das placas de concreto do lote inspecionado será calculada por:

$$h_m = \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1} + h_n}{n}$$

onde:

$h_m$  = espessura média das placas de concreto do lote inspecionado;

$h_1, h_2, \dots$  = espessuras dos testemunhos número 1, 2, ...;

$n$  = número de testemunhos, igual ou maior do que seis.

## 8.3 Aceitação e Rejeição

### 8.3.1 Aceitação automática

Satisfeitas as condições de execução o pavimento será automaticamente aceito se forem atendidas, concomitantemente, as exigências quanto à resistência e à espessura do concreto que se estabelecem a seguir:

- a) *Quanto à resistência do concreto*

O pavimento será aceito quanto à resistência do concreto se, conforme o caso:

$$f_{ctM,est} \geq f_{ctM,k} \quad \text{ou} \quad f_{ck,est} \geq f_{ck}$$

onde:

$f_{ctM,k}$  = resistência característica do concreto à tração na flexão;

$f_{ck}$  = resistência característica do concreto à compressão simples.

#### b) Quanto à espessura do concreto

O pavimento será aceito quanto à espessura do concreto se, ao mesmo tempo, forem cumpridas as seguintes condições:

- a maior diferença entre os valores individuais das alturas dos testemunhos extraídos for de, no máximo, 1 cm;
- $h_m \geq h$ , onde  $h$  é a espessura das placas de concreto especificada no projeto.

### 8.3.2 Decisão no caso de não aceitação automática

Quando não se der a aceitação automática, a decisão basear-se-á em uma, ou nas duas, das seguintes verificações, de comum acordo entre as partes interessadas: verificações suplementares do concreto e revisão do projeto.

### 8.3.3 Decisão

Se das mencionadas verificações concluir-se que as condições de segurança são satisfeitas, a estrutura será aceita. Em caso contrário, tomar-se-á, de comum acordo entre as partes interessadas, uma das seguintes decisões:

- a) a parte condenada do pavimento será demolida e reconstruída;
- b) o pavimento será reforçado;
- c) o pavimento será aproveitado, com restrições ao carregamento ou ao uso.

## 8.4 Abertura ao Tráfego

A abertura ao tráfego somente se dará quando o pavimento puder recebê-lo sem sofrer danos funcionais ou estruturais palpáveis e oferecer conforto e segurança ao usuário, o que significa que o concreto deverá ter, no momento da abertura ao tráfego, resistência suficiente aos esforços mecânicos e aprovação do desempenho de sua superfície.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Execução de pavimentos de concreto por processo mecânico; NBR 7583: projeto de revisão da NB-50*. Rio de Janeiro, 1984.
2. BUCHER, Hans Roman Edmundo. *Método de dosagem de concreto para pavimentos*. São Paulo, ABCP, 1984. (ET-73).
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Confecção e cura de corpos-de-prova de concreto cilíndricos ou prismáticos; NBR 5738*. Rio de Janeiro, 1980.
4. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Test method for flexural strength of concrete using simple beam with third-point loading; C 78*. In:\_\_\_\_\_. *Annual book of ASTM standards*. Philadelphia, 1983. v.04.02.
5. BUCHER, Hans Roman Edmundo & RODRIGUES, Públis Penna Firme. *Correlações entre as resistências mecânicas do concreto*. In: INSTITUTO BRASILEIRO DO CONCRETO (IBRACON). *Seminário sobre controle da resistência do concreto*, São Paulo, 27 de junho a 2 de julho de 1983.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Concreto; determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone; NBR 7223*. Rio de Janeiro, 1982.
7. \_\_\_\_\_. *Cimento portland comum; NBR 5732*. Rio de Janeiro, 1980.
8. \_\_\_\_\_. *Cimento portland de alta resistência inicial; NBR 5733*. Rio de Janeiro, 1980.
9. \_\_\_\_\_. *Cimento portland de alto-forno; NBR 5735*. Rio de Janeiro, 1980.
10. \_\_\_\_\_. *Cimento portland pozolânico; NBR 5736*. Rio de Janeiro, 1980.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Cimento portland de moderada resistência a sulfatos e moderado calor de hidratação (MRS) e cimento portland de alta resistência a sulfatos (ARS); NBR 5737*. Rio de Janeiro, 1977.
12. \_\_\_\_\_. *Agregados para concreto; NBR 7211*. Rio de Janeiro, 1983.
13. \_\_\_\_\_. *Determinação da abrasão "Los Angeles" de agregados; NBR 6465*. Rio de Janeiro, 1980.
14. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Specification for chemical admixtures for concrete; C 494*. In:\_\_\_\_\_. *Annual book of ASTM standards*. Philadelphia, 1983. v.04.02.

15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado; NBR 7480*. Rio de Janeiro, 1982.
16. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). *Guide to joint sealants for concrete structures; Committee 504R-77*. In: \_\_\_\_\_. *Manual of concrete practice*. Detroit, 1983. v.5.
17. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Specification for liquid membrane-forming compounds for curing concrete; C 309*. In: \_\_\_\_\_. *Annual book of ASTM standards*. Philadelphia, 1983. v-04.02.
18. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Solo; ensaio normal de compactação; NBR 7182*. Rio de Janeiro, 1982.
19. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Nonrepetitive static plate load tests of soils and flexible pavement components, for use in evaluation and design of airport and highway pavements; D 1196*. In: \_\_\_\_\_. *Annual book of ASTM standards*. Philadelphia, 1984. v.04.08.
20. PITTA, Márcio Rocha. *Dimensionamento dos pavimentos rodoviários de concreto*. 5.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 1983. (ET-14).
21. \_\_\_\_\_. *Projeto de sub-bases para pavimentação de concreto*. 2.ed. São Paulo, ABCP, 1983. (ET-29).
22. \_\_\_\_\_. *Projeto de juntas em pavimentos rodoviários de concreto*. 4.ed.rev.atual. São Paulo, ABCP, 1983. (ET-13).
23. \_\_\_\_\_. *Considerações sobre a cura de pavimentos de concreto em climas quentes*. São Paulo, ABCP, 1981.
24. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto; NBR 7680*. Rio de Janeiro, 1983.
25. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). *Obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete; C 42-82*. In: \_\_\_\_\_. *Annual book of ASTM standards*. Philadelphia, 1983. v.04.02.



**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](http://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