



SECRETARIA DOS TRANSPORTES  
DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM

INSTRUÇÃO DE PROJETO

CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMIÇÃO	jan/2006	FOLHA	1 de 53

TÍTULO

**PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO**

ÓRGÃO

DIRETORIA DE ENGENHARIA

PALAVRAS-CHAVE

Instrução. Projeto. Pavimentação.

APROVAÇÃO

PROCESSO

PR 009866/18/DE/2006

DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

OBSERVAÇÕES

REVISÃO	DATA	DISCRIMINAÇÃO



## ÍNDICE

1	RESUMO .....	3
2	OBJETIVO .....	3
3	DEFINIÇÕES.....	3
3.1	Pavimento.....	3
3.2	Tráfego .....	6
4	ETAPAS DE PROJETO .....	7
4.1	Estudo Preliminar .....	7
4.2	Projeto Básico .....	7
4.3	Projeto Executivo .....	7
5	ELABORAÇÃO DE PROJETO .....	8
5.1	Normas Gerais Aplicáveis.....	8
5.2	Materiais e Disposições Construtivas .....	9
5.3	Investigações Geológico-Geotécnicas.....	11
5.4	Critérios de Cálculo.....	16
6	FORMA DE APRESENTAÇÃO.....	38
6.1	Estudo Preliminar .....	38
6.2	Projeto Básico .....	38
6.3	Projeto Executivo .....	39
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
	ANEXO A – VALORES DO PERCENTUAL $t_{0,90}$ EM FUNÇÃO DOS VALORES $n-1$ .....	43
	ANEXO B – EXEMPLOS DE PLANILHAS DE CÁLCULO DE NÚMERO “N” .....	45
	ANEXO C – MODELOS DE PLANILHAS DE QUANTIDADES, QUADRO RESUMO DE DISTÂNCIAS DE TRANSPORTES E DEMONSTRATIVO DO CONSUMO DE MATERIAIS DOS SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO .....	50



## 1 RESUMO

Esta Instrução de Projeto apresenta os procedimentos, critérios e padrões a serem adotados, como os mínimos recomendáveis, para a elaboração de projeto de pavimentação para o Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP.

## 2 OBJETIVO

Padronizar os procedimentos a serem adotados para elaboração de projeto de pavimentação no âmbito do DER/SP.

## 3 DEFINIÇÕES

Para os efeitos desta instrução de projeto, são adotadas as seguintes definições:

### 3.1 Pavimento

Estrutura constituída por diversas camadas superpostas, de materiais diferentes, construída sobre o subleito, destinada a resistir e distribuir ao subleito simultaneamente esforços horizontais e verticais, bem como melhorar as condições de segurança e conforto ao usuário.

#### 3.1.1 Pavimento Flexível

Pavimento flexível é constituído por revestimento asfáltico sobre camada de base granular ou sobre camada de base de solo estabilizado granulometricamente. Os esforços provenientes do tráfego são absorvidos pelas diversas camadas constituintes da estrutura do pavimento flexível.

#### 3.1.2 Pavimento Semi-rígido

Pavimento semi-rígido é constituído por revestimento asfáltico e camadas de base ou sub-base em material estabilizado com adição de cimento. O pavimento semi-rígido é conhecido como pavimento do tipo direto quando a camada de revestimento asfáltico é executada sobre camada de base cimentada e do tipo indireto ou invertido quando a camada de revestimento é executada sobre camada de base granular e sub-base cimentada.

#### 3.1.3 Pavimento Rígido

Pavimento rígido é constituído por placas de concreto de cimento *Portland* assentes sobre camada de sub-base granular ou cimentada. Quando a sub-base for cimentada pode, adicionalmente, haver uma camada inferior de material granular. Os esforços provenientes do tráfego são absorvidos principalmente pelas placas de concreto de cimento *Portland*, resultando em pressões verticais bem distribuídas e aliviadas sobre a camada de sub-base ou sobre a camada de fundação.

#### 3.1.4 Pavimento de Peças Pré-moldadas de Concreto

Pavimento de peças pré-moldadas de concreto é constituído por revestimento em blocos pré-moldados de concreto de cimento *Portland* assentes sobre camada de base granular ou cimentada. Pode ou não apresentar camada de sub-base granular quando a base for cimenta-



da.

### 3.1.5 Pavimento Composto

Pavimento composto é constituído por revestimento asfáltico esbelto sobre placas de concreto de cimento *Portland* ou placas de concreto de cimento *Portland* sobre camada asfáltica.

### 3.1.6 Subleito

Camada compreendida entre a superfície da plataforma de terraplenagem e a superfície paralela, situada no limite inferior da zona de influência das pressões aplicadas na superfície do pavimento.

### 3.1.7 Reforço do Subleito

Camada requerida por imposição técnico-econômica, situada imediatamente acima do subleito. É constituída basicamente por material de empréstimo ou jazida.

### 3.1.8 Sub-base – Pavimento Flexível

Camada requerida por imposição técnico-econômica, situada entre o subleito ou reforço do subleito e a base. Pode ser constituída por materiais granulares graúdos, como pedregulhos, cascalhos, produtos de britagem que, embora selecionados, não atendam a todos os requisitos necessários à constituição de base de pavimento; solos estabilizados quimicamente com adição de cimento ou cal, ou simplesmente por material selecionado de empréstimo ou jazida.

### 3.1.9 Sub-base – Pavimento Rígido

Camada situada imediatamente abaixo das placas de concreto de cimento *Portland*. Pode ser constituída por materiais estabilizados granulometricamente ou estabilizados quimicamente com adição de cimento ou cal.

### 3.1.10 Base – Pavimento Flexível ou Semi-rígido

Camada situada acima da sub-base. Pode ser constituída por materiais granulares, como pedregulhos, cascalhos e produtos de britagem, estabilizados com a adição de cimento ou material asfáltico quando necessário, solos estabilizados mecanicamente mediante mistura com produtos de britagem, ou solos estabilizados quimicamente com adição de cimento ou cal.

### 3.1.11 Revestimento Asfáltico

Camada situada sobre a base, constituindo a superfície de rolamento para os veículos. Pode ser constituído por tratamento superficial ou concreto asfáltico.

### 3.1.12 Pré-misturado à Frio ou Pré-misturado à Quente

A camada de pré-misturado à frio ou pré-misturado à quente pode ser utilizada como camada de revestimento, camada de base ou camada de regularização. O pré-misturado à frio é



uma mistura executada à temperatura ambiente em usina apropriada, composta de agregado mineral graduado, *filler* e emulsão asfáltica, espalhada e comprimida à frio. O pré-misturado à quente é uma mistura à quente em usina apropriada de agregado mineral graúdo e material asfáltico espalhado e comprimido à quente.

### 3.1.13 Tratamento Superficial

Revestimento, constituído por camada de agregado aplicada sobre ligante asfáltico. Pode ser constituído por aplicação simples, dupla, tripla com ou sem capa selante.

### 3.1.14 Concreto Asfáltico – Camada de Ligação ou *Binder*

Camada situada entre a base e a capa de rolamento, utilizada nos casos em que a espessura requerida para o revestimento asfáltico seja elevada.

### 3.1.15 Concreto Asfáltico – Capa de Rolamento

Revestimento constituído por mistura íntima de agregados com material asfáltico de características rigorosamente controladas.

### 3.1.16 Imprimação Asfáltica Ligante

Aplicação de material asfáltico sobre a superfície da base ou do revestimento asfáltico, antes da execução de nova camada asfáltica, a fim de promover a aderência com a camada subjacente.

### 3.1.17 Imprimação Asfáltica Auxiliar de Ligação

Aplicação de material asfáltico diluído sobre a superfície da base impermeabilizada ou sobre a camada asfáltica imprimada. A imprimação asfáltica auxiliar de ligação deve ser utilizada quando a execução da nova camada asfáltica ocorrer após determinado intervalo de tempo, a fim de promover a aderência com a camada subjacente.

### 3.1.18 Imprimação Asfáltica Impermeabilizante

Aplicação de material asfáltico sobre a superfície da base, antes da execução do revestimento asfáltico, a fim de aumentar a coesão da superfície da base decorrente da penetração da imprimação na parte superior desta camada, impermeabilizando-a e proporcionando condição de aderência entre o revestimento e a base.

### 3.1.19 Placas de Concreto de Cimento *Portland*

Placas de concreto de cimento *Portland* simples, armado ou protendido, interligadas por juntas longitudinais e transversais. As juntas longitudinais têm por função combater as tensões geradas por variações de temperatura e umidade. As juntas transversais combatem a fissuração gerada pela retração do concreto.

### 3.1.20 Drenagem do Pavimento

Sistema de drenagem constituído por base ou sub-base de materiais permeáveis e drenos ra-



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMIÇÃO	jan/2006	FOLHA	6 de 53

solos de captação com características adequadas, destinado à condução das águas infiltradas pelo revestimento através de trincas ou pelas bordas do pavimento ou através do subleito.

### 3.1.21 Módulo de Resiliência

Módulo de resiliência ou módulo de elasticidade de um material é a relação entre a tensão vertical aplicada repetidamente,  $\sigma_d$ , e a deformação axial recuperável,  $\epsilon_a$ , que lhe corresponde após determinado número de aplicações de carga. Para materiais como solos, areias, agregados etc., em geral utiliza-se a denominação módulo de resiliência. Já para concretos de cimento *Portland*, solo-cimento, utiliza-se a denominação módulo de elasticidade.

### 3.1.22 Coeficiente de Poisson

Coeficiente de *Poisson* é a razão da deformação lateral ou radial pela deformação vertical ou axial recuperável e é considerado constante. Teoricamente o coeficiente de *Poisson* varia entre 0,0 no corpo rígido até 0,5 na deformação sem variação do volume.

## 3.2 Tráfego

### 3.2.1 Fator de Eixo – FE

Coeficiente que, multiplicado pelo volume total de tráfego comercial que solicitará o pavimento durante o período de projeto, fornece a estimativa do número de eixos que solicitarão o pavimento no mesmo período de projeto.

### 3.2.2 Fator de Equivalência Operacional – FEO

Coeficiente que, multiplicado pelo número de operações de uma determinada carga de eixo, simples ou tandem, fornece o número equivalente de operações do eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN.

### 3.2.3 Fator de Carga – FC

Coeficiente que, multiplicado pelo número de eixos que solicitarão o pavimento durante o período de projeto, fornece o número equivalente de operações do eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN.

### 3.2.4 Fator de Veículo – FV

Coeficiente que, multiplicado pelo volume total de tráfego comercial que solicita o pavimento durante o período de projeto, fornece o número equivalente de operações do eixo simples padrão no mesmo período, ou seja:  $FV = FE \times FC$ .

### 3.2.5 Fator Climático Regional – FR

Coeficiente que considera as variações de umidade dos materiais do pavimento durante as diversas estações do ano.



### 3.2.6 Período de Projeto

Período adotado para o dimensionamento da estrutura do pavimento, de tal forma a desempenhar sua função de proporcionar trafegabilidade, conforto e segurança aos usuários durante este período. Adota-se, normalmente, período de projeto igual a 10 anos para pavimentos flexíveis e semi-rígidos, e 20 anos para pavimentos rígidos.

## 4 ETAPAS DE PROJETO

O projeto de pavimento deve ser elaborado em três etapas, descritas a seguir.

### 4.1 Estudo Preliminar

Esta etapa corresponde às atividades relacionadas ao estudo geral de pavimento, baseado em dados de cadastros regionais e locais, observações de campo e experiência profissional de maneira a permitir a previsão preliminar da estrutura de pavimento e seu custo.

Deve-se procurar o contato direto com as condições físicas do local da obra através de reconhecimento preliminar, utilizando documentos de apoio disponíveis como mapas geológicos, dados de algum projeto existente na área de influência da obra e dados históricos do tráfego. A análise dos dados permite a previsão das investigações necessárias para a etapa de projeto subsequente, o projeto básico.

O estudo preliminar deve constituir-se de memorial descritivo com apresentação das alternativas de estruturas de pavimento acompanhadas de pré-dimensionamentos e a solução eleita a partir de análise técnico-econômica simplificada, desenhos de seção-tipo de pavimento, quantitativos dos serviços de pavimentação e orçamento preliminar.

### 4.2 Projeto Básico

Com os elementos obtidos nesta etapa, tais como: topografia, investigações geológico-geotécnicas, projeto geométrico, projeto de drenagem etc., devem ser estudadas alternativas de solução, com grau de detalhamento suficiente para permitir comparações entre elas, objetivando a seleção da melhor solução técnica e econômica para a obra.

O projeto básico deve constituir-se de memorial de cálculo com análise geológico-geotécnica, pesquisa de tráfego e cálculo do número “N” de solicitações do eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN, dimensionamento da estrutura de pavimento com verificação mecanicista, desenhos de seção-tipo transversal de pavimento, planta de localização dos tipos de pavimentos e planilha de quantidades com orçamento dos serviços de pavimentação.

### 4.3 Projeto Executivo

Nesta etapa, a solução selecionada no projeto básico deve ser detalhada a partir dos dados atualizados de campo, da topografia, das investigações geológico-geotécnicas complementares, do projeto geométrico, do projeto de drenagem etc.

O projeto executivo deve constituir-se de memorial de cálculo com resultados das investigações geotécnicas e pesquisas de tráfego complementares para cálculo do número “N” de solicitações do eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN, dimensionamento da estrutura



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMIÇÃO	jan/2006	FOLHA	8 de 53

de pavimento com verificação mecanicista, desenhos de seção-tipo transversal de pavimento, planta de localização dos tipos de pavimentos, detalhes construtivos e especificações de serviços e planilha de quantidades com orçamento dos serviços de pavimentação.

## 5 ELABORAÇÃO DE PROJETO

O projeto de pavimentação deve ser elaborado segundo os critérios apresentados a seguir.

Caso alguma norma necessária ao desenvolvimento do projeto não conste no referido item, a projetista deve incluí-la nos estudos e projetos após aprovação pelo DER/SP.

### 5.1 Normas Gerais Aplicáveis

#### 5.1.1 Pavimentos Flexíveis e Pavimentos Semi-Rígidos

Para a elaboração do estudo preliminar de pavimentação deve ser adotado o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DER/SP<sup>(1)</sup>.

Para a elaboração dos projetos básico e executivo de pavimentação devem ser adotados, além do método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DER/SP<sup>(1)</sup>, o método da resiliência constante no Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER<sup>(2)</sup>.

A critério da fiscalização, pode ser solicitada a verificação mecanicista da estrutura de pavimento dimensionada pelos métodos do DER/SP e do DNER através do emprego de programa computacional. Na utilização de programas computacionais para a verificação mecanicista, devem ser fornecidas a descrição sucinta do programa computacional, as hipóteses de cálculo utilizadas e simplificações adotadas, dados de entrada e resultados obtidos.

É recomendável a utilização de estrutura de pavimento semi-rígido em vias com número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN igual ou superior a  $5 \times 10^7$ .

#### 5.1.2 Pavimentos Rígidos

Para a elaboração do estudo preliminar e dos projetos básico e executivo de pavimentação devem ser adotados os procedimentos de dimensionamento de pavimento de concreto da *Portland Cement Association* – PCA, versão de 1984 constante no Manual de Pavimentos Rígidos do Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT<sup>(5)</sup> e o da *American Association of State Highway and Transportation Officials* – AASHTO<sup>(7)</sup>, versão de 1993.

Pode ser solicitada, ainda, na etapa de elaboração do projeto executivo de pavimentação, a verificação mecanicista da estrutura. Na utilização de programas computacionais para a verificação mecanicista, devem ser fornecidas a descrição sucinta do programa computacional, as hipóteses de cálculo utilizadas e simplificações adotadas, dados de entrada e resultados obtidos.



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMISSÃO	jan/2006	FOLHA	9 de 53

### 5.1.3 Pavimentos de Peças Pré-moldadas de Concreto

Para a elaboração do estudo preliminar de pavimentação deve ser adotado o procedimento de dimensionamento constante no item 4.6.7 do Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT<sup>(3)</sup>.

Para a elaboração dos projetos básico e executivo de pavimentação devem ser adotados os procedimentos de dimensionamento de pavimento de peças pré-moldadas de concreto da *Portland Cement Association – PCA*, versão de 1984 constante do Manual de Instruções de Projeto da Prefeitura Município de São Paulo<sup>(8)</sup> e o do Manual de Pavimentos Rígidos DNIT<sup>(5)</sup>.

A critério da fiscalização, pode ser solicitada a verificação mecanicista da estrutura de pavimento dimensionada pelos métodos do DNIT e da PCA através do emprego de programa computacional. Na utilização de programas computacionais para a verificação mecanicista, devem ser fornecidas a descrição sucinta do programa computacional, as hipóteses de cálculo utilizadas e simplificações adotadas, dados de entrada e resultados obtidos.

## 5.2 Materiais e Disposições Construtivas

Os materiais e serviços de pavimentação devem atender às especificações técnicas de serviço de pavimentação do DER/SP.

Os materiais ou misturas de materiais empregados nas diversas camadas constituintes da estrutura do pavimento devem atender também às seguintes prescrições.

### 5.2.1 Solos do Subleito

Para a camada de melhoria e preparo do subleito os solos devem apresentar as seguintes propriedades geotécnicas:

- capacidade de suporte medida pelo Índice de Suporte Califórnia (ISC) superior ou igual à 2%;
- expansão máxima de 2%;
- grau de compactação mínimo de 100% do Proctor Normal. Para solos finos lateríticos ou para solos granulares pode ser utilizada a energia de 100% do Proctor Intermediário.

No caso de aproveitamento do subleito de estradas já implantadas, cascalhadas, o solo na profundidade de 0,20 m abaixo do greide preparado para receber o pavimento deve ser escarificado, umedecido e compactado na energia indicada anteriormente.

No caso de ocorrência de solos com ISC inferior a 2%, deve-se efetuar substituição destes solos na espessura a ser definida de acordo com os critérios adotados nos estudos geotécnicos.

Para subleito com solos de expansão superior a 2%, deve ser determinada, experimentalmente, a sobrecarga necessária para o solo apresentar expansão menor que 2%. O peso próprio do pavimento projetado deve transmitir para o subleito pressão igual ou maior do que a determinada pelo ensaio. Caso o peso próprio da estrutura não seja suficiente para propor-



cionar pressão maior ou igual à determinada no ensaio de sobrecarga, deve-se efetuar a substituição de solos em espessura definida nos estudos geotécnicos realizados.

### 5.2.2 Materiais para Reforço do Subleito

Os solos apropriados para camada de reforço do subleito são os de ISC superior ao do subleito e expansão máxima de 1%.

Recomenda-se que os solos seja os de comportamento laterítico do tipo LA, LA' e LG' da classificação Miniatura Compactada Tropical – MCT proposta por Nogami & Villibor<sup>(9)</sup>.

### 5.2.3 Materiais para Camadas de Sub-Base e Base

Os solos, misturas de solos, solos estabilizados quimicamente, materiais pétreos ou misturas de solos quando empregados na camada de sub-base do pavimento devem apresentar as seguintes propriedades geotécnicas:

- capacidade de suporte, ISC, superior ou igual a 30%;
- expansão máxima de 1%.

Estes materiais ou misturas de materiais, quando empregados na camada de base do pavimento, devem apresentar as seguintes propriedades geotécnicas:

- capacidade de suporte, ISC, superior ou igual a 80%;
- expansão máxima de 1%.

Para misturas de solo-cimento, a resistência característica à compressão simples, avaliada aos 7 dias de idade, deve ser igual ou superior à definida quando da realização de estudos de dosagem.

Para brita graduada tratada com cimento, a mistura deve ser dosada de modo a obter resistência característica à compressão simples, avaliada aos 28 dias de idade, superior ou igual a 4,0 MPa e inferior a 6,2 MPa. A resistência à tração indireta no ensaio de compressão diametral, avaliada aos 28 dias de idade, deve ser superior ou igual a 0,7 MPa e inferior a 1,0 MPa.

Para concreto compactado com rolo, a mistura deve ter consumo mínimo de cimento variando de 85 kg/m<sup>3</sup> a 120 kg/m<sup>3</sup>, e a resistência à tração na flexão, avaliada aos 28 dias de idade, deve ser superior ou igual a 1,5 MPa.

### 5.2.4 Materiais para Camadas de Rolamento e de Ligação ou *Binder*

Para as camadas de rolamento e de ligação ou *binder* tanto os agregados quanto os materiais asfálticos e a mistura resultante de concreto asfáltico usinado a quente ou pré-misturado a quente ou pré-misturado a frio devem atender, obrigatoriamente, às especificações técnicas de pavimentação do DER/SP.



### 5.2.5 Concreto de Cimento *Portland*

Os pavimentos de concreto simples de cimento *Portland* devem ser dotados de barras de ligação e de transferência. As placas de concreto devem ser retangulares, com exceção das placas de concordância, que devem ser dotadas de armadura simples distribuída descontínua. As placas devem possuir juntas longitudinais de articulação e transversais de retração conforme indicado no projeto.

As juntas de articulação e retração devem ser preenchidas com material do tipo polietileno, isopor, cortiça ou similar e preenchidas com selante. Estes materiais devem atender às exigências impostas pela especificação técnica de serviço de pavimentação do DER/SP.

Todos os materiais a serem utilizados na confecção do pavimento, tais como: cimento, agregados, água, aditivos, produto de cura e aço devem atender às exigências impostas pela especificação técnica de serviço do DER/SP.

O concreto deve ser dosado experimentalmente por qualquer método que correlacione resistência, durabilidade e fator água e cimento, levando-se em conta a trabalhabilidade específica para cada caso e deve atender, simultaneamente, as seguintes resistências características:

- tração por flexão igual ou superior a 4,5 MPa, aos 28 dias de idade;
- compressão axial igual ou superior a 33 MPa, aos 28 dias de idade.

### 5.2.6 Peças Pré-Moldadas de Concreto

As peças pré-moldadas de concreto de cimento *Portland* devem atender às exigências impostas pela especificação NBR 9780<sup>(9)</sup>, NBR 9781<sup>(10)</sup> e pela especificação técnica de serviço de pavimentação do DER/SP.

A resistência característica à compressão simples, aos 28 dias de idade, deve ser superior ou igual a 35 MPa para solicitações de veículos comerciais de linha e superior ou igual a 50 MPa quando houver tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão.

## 5.3 Investigações Geológico-Geotécnicas

As investigações geológico-geotécnicas devem ser realizadas em função das necessidades de detalhamento de cada etapa do projeto, relacionadas às etapas de estudo preliminar, projeto básico e projeto executivo.

Os estudos geológicos e geotécnicos devem ser executados de acordo com a Instrução de Projeto de Estudos Geológicos e com a Instrução de Projeto de Estudos Geotécnicos.

### 5.3.1 Estudo Preliminar

O estudo preliminar engloba a aquisição de informações disponíveis em mapas geológicos, e pedológicos, dados de estudos hidrológicos da região de influência da obra e de dados de projetos anteriores existentes na área de influência da obra. No caso de obras de duplicação ou de adequação de rodovias existentes, podem ser aproveitados na etapa de estudo preliminar os dados de geotecnia disponíveis no Banco de Dados do Sistema de Gerência de Pavi-



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMIÇÃO	jan/2006	FOLHA	12 de 53

mentos do DER/SP.

Após a coleta dos dados mencionados anteriormente, o estudo preliminar deve prosseguir por meio de vistoria no campo por profissionais especializados, com comprovada experiência.

Na etapa de vistoria de campo devem ser coletadas as informações básicas relevantes para a elaboração do estudo de alternativas de estruturas de pavimentos e para a programação das etapas de estudos geotécnicos. Esta programação refere-se à amostragem sistemática e aos ensaios geotécnicos que serão contemplados nas etapas de projeto básico e de projeto executivo.

As seguintes informações básicas e mínimas relevantes para o estudo de alternativas de estruturas de pavimentos devem ser obtidas na etapa de vistoria de campo:

- existência ou não de materiais pétreos na região e estimativa de volume de exploração da rocha aparentemente sã da pedreira;
- verificação da localização de areais e estimativa de volume;
- verificação das condições topográficas;
- identificação expedita, táctil-visual, do subleito e dos solos das áreas de empréstimos, caso ocorram, considerando cor, macro-estrutura, mineralogia e granulometria ou pelo método expedito de pastilha proposto na metodologia Miniatura Compactada Tropical – MCT<sup>(9)</sup>;
- delimitação aproximada e estimativa de volume de pelo menos três áreas de empréstimos de solos.

### 5.3.2 Projeto Básico

Na etapa de projeto básico devem ser realizadas as seguintes atividades.

#### 5.3.2.1 Realização de sondagens e ensaios geotécnicos com solos do subleito

A amostragem para os estudos geológico-geotécnicos deve ser realizada por meio de furos de sondagens, com espaçamento máximo entre dois furos consecutivos, no sentido longitudinal, de 200 m. Os furos de sondagens devem ser locados e amarrados no sistema de estaqueamento do projeto geométrico e com base em informações contidas na vistoria de campo realizada na etapa de estudo preliminar.

As sondagens para reconhecimento táctil-visual, coleta de amostras dos solos do subleito, traçado do perfil geotécnico do subleito e anotação da cota do nível d'água, se constatado, devem ser executados com auxílio de equipamentos manuais do tipo: trado espiral, cavadeira, pá, picareta etc.

A profundidade das amostras em relação ao greide acabado de terraplenagem deve ser de 1,5 m ou mais no caso de ocorrência de solos inadequados sujeitos a remoção.

Os ensaios geotécnicos devem ser realizados de forma a avaliar os materiais entre 0,0 m e 1,5 m abaixo da cota do greide final de terraplenagem, por meio da coleta de amostras de



solos por horizonte verificado no furo executado. Caso haja mais de um horizonte avaliado na análise tátil-visual, devem ser coletadas e ensaiadas amostras representativas de cada horizonte.

Os solos do subleito devem ser estudados conforme os seguintes ensaios geotécnicos:

- a) ensaios *in situ*: massa específica aparente do solo e teor de umidade natural;
- b) ensaios de laboratório:
  - compactação de solos com equipamento miniatura;
  - determinação da perda de massa por imersão de solos compactados em equipamento miniatura;
  - determinação do índice de suporte Mini-CBR e da expansão;
  - Índice de Suporte Califórnia (ISC);
  - análise granulométrica completa de solos, incluindo ensaio de sedimentação.

O uso do Mini-CBR é admissível, em substituição ao ISC, quando o material apresentar granulometria com 90% passando na peneira de 2 mm de abertura nominal.

Com os resultados do ensaio de compactação de solos com equipamento miniatura e do ensaio de determinação de perda de massa por imersão, classifica-se o solo de acordo com a Classificação Miniatura Compactada Tropical – MCT proposta por Nogami & Villibor<sup>(11)</sup>.

### 5.3.2.2 Realização de sondagens e ensaios geotécnicos com solos das áreas de empréstimo

A amostragem da jazida na etapa de projeto básico deve ser realizada por meio de, no mínimo, três furos de sondagens locados de forma a abranger toda a área da jazida de solos julgada aproveitável na inspeção de campo e delimitada aproximadamente na etapa de estudo preliminar.

As áreas de empréstimos devem ser cadastradas pela topografia amarrando-se as coordenadas das sondagens executadas, bem como das cotas da superfície da área, a localização e a distância em relação à rodovia em análise.

Deve ser coletada em cada furo e para cada horizonte de solo detectado, uma amostra suficiente para a realização de todos os ensaios geotécnicos de caracterização. Devem ser anotadas as cotas de mudança de camadas, adotando-se uma denominação expedita que as caracterize.

A área de empréstimo deve ser considerada satisfatória para a prospecção definitiva na etapa de projeto executivo quando os materiais coletados e ensaiados ou, pelo menos, parte dos materiais existentes satisfizerem às especificações vigentes, ou quando houver a possibilidade de correção por mistura com materiais de outras jazidas.

Os solos das áreas de empréstimo devem ser estudados conforme os ensaios geotécnicos citados no item 5.3.2.1.



### 5.3.2.3 Pesquisa de ocorrência de material pétreo

Na etapa de projeto básico devem ser coletadas amostras de rochas por meio de sondagens rotativas no paredão rochoso da pedra inventariada na etapa de estudo preliminar para serem submetidas aos ensaios:

- abrasão *Los Angeles*;
- sanidade;
- adesividade;
- análise petrográfica, se solicitada pela fiscalização;
- compressão uniaxial;
- índices físicos;
- índice de forma de fragmentos;
- análise granulométrica.

No caso de utilização no projeto de pedra comercial, devem ser anexadas as licenças de instalação, exploração e operação da empresa.

### 5.3.3 Projeto Executivo

Na etapa de projeto executivo, as investigações devem ser complementadas para atender às necessidades de detalhamento da solução de pavimentação selecionada no projeto básico. Portanto, na etapa de projeto executivo devem ser realizadas as atividades descritas a seguir.

#### 5.3.3.1 Realização de sondagens e ensaios geotécnicos com solos do subleito

A amostragem da rodovia, para fins geotécnicos, na etapa de projeto executivo deve ser realizada por meio de furos de sondagens, com espaçamento máximo entre dois furos consecutivos, no sentido longitudinal, de 100 m. Os furos de sondagem devem ser locados e amarrados ao sistema de estaqueamento do projeto geométrico, considerando os furos já executados na etapa de projeto básico.

É fundamental a indicação correta das posições dos furos de sondagens e as suas profundidades de coleta de amostras. Dessa forma, tenta-se evitar que ocorram situações onde os resultados dos ensaios geotécnicos das amostras de solos estudadas sejam inutilizados devido aos erros cometidos quando da programação dos furos de sondagens pela não observância de detalhes do projeto geométrico.

Os ensaios a serem realizados nas amostras de solos coletadas no subleito na etapa de projeto executivo são idênticos aos apresentados no item 5.3.2.1.

#### 5.3.3.2 Realização de sondagens e ensaios geotécnicos com solos das áreas de empréstimo

Verificada a possibilidade de aproveitamento técnico-econômico de uma área de empréstimo, baseado nos resultados dos ensaios laboratoriais realizados nas amostras de solos da jazida ensaiada na etapa de projeto básico, bem como da viabilidade de exploração da área,



deve ser realizado o estudo definitivo na etapa de projeto executivo.

A partir do levantamento topográfico da área a ser explorada, lança-se um reticulado com malha de 50 m de lado, dentro dos limites da ocorrência selecionada, onde serão executados novos furos de sondagens.

Deve ser coletada em cada furo e para cada horizonte de solo detectado, uma amostra suficiente para a realização de todos os ensaios geotécnicos de caracterização. Devem ser anotadas as cotas de mudança de camadas, adotando-se uma denominação expedita que as caracterize.

Os ensaios geotécnicos a serem realizados nas amostras de solos coletadas nas jazidas na etapa de projeto executivo são idênticos aos apresentados no item 5.3.2.1.

#### 5.3.3.3 Pesquisa de ocorrência de material pétreo

Na etapa de projeto executivo, se necessário, deve ser providenciado o lançamento de um reticulado com malha de 20 m de lado, dentro dos limites da ocorrência selecionada, onde serão realizados novos furos de sondagens rotativas.

Os ensaios laboratoriais a serem realizados na etapa de projeto executivo são idênticos aos apresentados no item 5.3.2.3.

No caso de utilização no projeto de pedra comercial, devem ser anexadas as licenças de instalação, exploração e operação da empresa.

#### 5.3.3.4 Pesquisa de ocorrência de areias

Na etapa de projeto executivo devem ser realizados ensaios laboratoriais com o objetivo de obtenção de informações a respeito das propriedades geotécnicas das areias a serem utilizadas na obra.

As informações com relação às propriedades geotécnicas do areal devem ser obtidas por certificados fornecidos pelos proprietários ou pela coleta de amostras e posterior realização de ensaios laboratoriais.

Os ensaios laboratoriais que devem ser apresentados para o areal são:

- composição granulométrica;
- módulo de finura;
- diâmetro máximo;
- massa específica real;
- massa específica aparente;
- teor de argila.

No caso de utilização no projeto de areal comercial devem ser anexadas as licenças de instalação, exploração e operação da empresa.



### 5.3.3.5 Realização de ensaios especiais

Os ensaios especiais que se tornarem necessários para o detalhamento do projeto executivo podem ser solicitados pelo DER/SP.

Os ensaios especiais usualmente necessários na etapa de elaboração do projeto executivo são:

- dosagem de misturas cimentadas como solo-cimento, solo-brita tratado com cimento, brita graduada tratada com cimento, concreto compactado com rolo, para a determinação do teor ótimo de cimento *Portland* e da resistência obtida da mistura;
- dosagem de misturas de solo e brita para a determinação do ISC e da porcentagem de brita necessária na mistura;
- ensaio *Marshall* para a determinação da estabilidade e da fluência do concreto asfáltico;
- ensaio de módulo de resiliência de misturas de solo-brita, solo-cimento, solo-brita tratado com cimento, brita graduada tratada com cimento, base estabilizada granulometricamente, reforço do subleito com solos selecionados, concreto asfáltico etc.

## 5.4 Critérios de Cálculo

### 5.4.1 Concepção da Estrutura do Pavimento

A estrutura do pavimento deve ser concebida de acordo com a disponibilidade de materiais nas proximidades da obra, conforme as características dos esforços solicitantes provenientes do tráfego, das propriedades geotécnicas dos solos do subleito e das condições climáticas da área de implantação da obra, ou de acordo com outras necessidades, tais como o prazo de execução da obra.

A estrutura do pavimento pode ser do tipo flexível, semi-rígido ou rígido.

### 5.4.2 Parâmetros de Projeto

#### 5.4.2.1 Capacidade de suporte do subleito

A capacidade de suporte do subleito é medida através do ensaio de penetração conhecido como Índice de Suporte Califórnia, e o valor de capacidade de suporte de projeto,  $ISC_p$ , é utilizado para o dimensionamento da estrutura do pavimento. Para efeito de dimensionamento da estrutura de pavimento, o trecho rodoviário é dividido em segmentos homogêneos com relação à capacidade de suporte do subleito. Para cada segmento homogêneo tem-se um valor de  $ISC_p$ .

As amostras de solos para a determinação da capacidade de suporte de projeto devem ser coletadas nas áreas de cortes e nas caixas de empréstimo que serão utilizadas para a execução das últimas camadas dos aterros.

O  $ISC_p$  é determinado através da seguinte expressão matemática:



$$ISC_p = \overline{ISC} - \frac{\sigma \times t_{0,90}}{\sqrt{n-1}}$$

Onde:

$\overline{ISC}$  : média aritmética dos valores de ISC das “n” amostras ensaiadas;

$t_{0,90}$ : coeficiente de *Student* relativo ao intervalo de confiança de 90%;

$\sigma$  : desvio padrão da população dos valores de ISC das “n” amostras ensaiadas.

$$\overline{ISC} = \frac{\sum ISC_i}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (ISC_i - \overline{ISC})^2}{n}}$$

Os valores do percentual  $t_{0,90}$  em função dos valores de  $n-1$  são mostrados no Anexo A.

Para o caso de dimensionamento de pavimentos flexíveis e pavimentos semi-rígidos pelo método da resiliência, é necessário, além do conhecimento da capacidade de suporte dos solos do subleito, classificar os solos do subleito quanto à resiliência.

Os solos finos coesivos são os solos que apresentam mais de 35% do material, em peso, passando na peneira de 0,075 mm, que com frequência encontram-se em subleitos ou em camadas de reforço do subleito. São classificados, de acordo com os parâmetros de resiliência determinados em ensaios triaxiais dinâmicos, nos seguintes tipos:

- solos tipo I: solos com baixo grau de resiliência que apresentam bom comportamento como subleito e reforço de subleito, com possibilidade de utilização em camada de sub-base.
- solos tipo II: solos com grau de resiliência intermediário que apresentam comportamento regular como subleito. Seu uso como reforço de subleito requer estudos e ensaios especiais.
- solos tipo III: solos com grau de resiliência elevado, cujo emprego em camadas de pavimentos não é aconselhável. Requerem cuidados e estudos especiais para uso como subleito.

A Tabela 1 permite classificar o solo em função da porcentagem de silte na fração fina,  $S$ , ou seja, fração que passa na peneira de abertura de 0,075 mm e o valor ISC correspondente.

**Tabela 1 – Classificação dos Solos Finos Quanto à Resiliência**

ISC (%)	S (%)		
	≤ 35	35 a 65	> 65
≥ 10	I	II	III
6 a 9	II	II	III
2 a 5	III	III	III



$$S = 100 - \left( \frac{P_1}{P_2} \times 100 \right)$$

Onde:

$S$ : porcentagem de silte na fração fina que passa na peneira de abertura de 0,075 mm;

$P_1$ : porcentagem, em peso, de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a 0,005 mm, determinada na curva de distribuição granulométrica;

$P_2$ : porcentagem, em peso, de material cujas partículas tenham diâmetro inferior a 0,075 mm, determinada na curva de distribuição granulométrica.

Os ensaios de granulometria com sedimentação devem ser realizados para os solos contendo mais de 35% de material, em peso, passando na peneira de 0,075 mm de abertura.

#### 5.4.2.2 Tráfego

O tráfego para o dimensionamento de pavimentos pode ser caracterizado de várias formas, porém a mais utilizada é a determinação do número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN para um determinado período de projeto. Também, no caso de dimensionamento de pavimento rígido utiliza-se o número acumulado de repetições dos vários tipos de eixos e cargas obtido para um determinado período de projeto. No Brasil, os principais modelos e métodos de dimensionamentos de pavimento utilizam o número “N”, excetuando-se o procedimento de dimensionamento de pavimento rígido da *Portland Cement Association* – PCA que utiliza o número acumulado de repetições dos vários tipos de eixos e cargas.

O número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN é a transformação de todos os tipos de eixos e cargas dos veículos comerciais que trafegarão sobre o pavimento em um eixo simples padrão de rodas duplas equivalente de 80 kN. Consideram-se apenas os veículos comerciais no cálculo do número “N”, visto que os automóveis possuem carga de magnitude desprezível em relação aos veículos comerciais.

O número “N” é calculado pela expressão:

$$N = \sum_{i=1}^P N_i$$

Onde:

$N$ : número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto;

$P$ : período de projeto igual a 10 anos para pavimento flexível ou semi-rígido e 20 anos para pavimento rígido;

$i = 1$ : ano de início da vida de projeto;

$N_i$ : número equivalente de operações do eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado durante o ano “i”.



“ $N_i$ ” é calculado pela seguinte expressão:

$$N_i = V_{ii} \times FV \times FR$$

Onde:

$V_{ii}$ : volume total acumulado de veículos comerciais por sentido na faixa de projeto durante o ano “ $i$ ”;

$FV$ : fator de veículo da frota, que é função do método empregado;

$FR$ : fator climático regional.

Para a determinação do volume total acumulado de veículos comerciais que trafegará pela faixa de projeto durante o ano “ $i$ ” é utilizada a seguinte expressão:

$$V_{ii} = VDM_C \times 365 \times D \times Fp$$

Onde:

$V_{ii}$ : volume total acumulado de veículos comerciais por sentido na faixa de projeto durante o ano “ $i$ ”;

$VDM_C$ : volume diário médio de veículos comerciais total durante o ano “ $i$ ”;

$D$ : distribuição direcional (%);

$Fp$ : porcentagem de veículos comerciais na faixa de projeto (%).

O volume diário médio de veículos comerciais,  $VDM_C$ , na etapa de estudo preliminar deve ser baseado no Caderno de Estatística de Tráfego do DER/SP. Já nas etapas de projetos básico e executivo devem ser realizadas contagens de tráfego de acordo com a Instrução de Projeto de Elaboração de Estudos de Tráfego.

O fator de veículo da frota,  $FV$ , multiplicado pelo volume de veículos comerciais que trafega na via, fornece o número de eixos equivalentes de operações do eixo padrão.

Para a determinação do  $FV$  da frota, é necessário inicialmente determinar o fator equivalente de operações de cada um dos veículos que trafegarão sobre o pavimento, que é o produto entre o fator de eixo,  $FE$ , e o fator de carga,  $FC$ . A determinação do  $FC$  possui duas metodologias: a da *United States Army Corps of Engineers – USACE* preconizada pelo DNIT, e a da *American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO*<sup>(7)</sup>.

Para a determinação dos fatores de carga é necessário se conhecer as várias cargas por tipo de eixo que atuarão sobre o pavimento. Para tanto é necessário a realização de pesquisas de pesagem na área de influência do projeto.

Entretanto, caso não se consigam dados de pesagens de veículos e se autorizados pela fiscalização do DER/SP, podem ser adotados os valores de fatores de veículos indicados nas Tabelas 2 e 3.



**Tabela 2 – Fatores de Veículos na Etapa de Estudo Preliminar**

Classificação dos Veículos		FV			Combinação de Eixos				Nº de Eixos
		Flexível		Rígido	ESRS	ESRD	ETD	ETT	
Classe	Tipo	USACE	AASHTO						
Médio	Com. 1	1,98	1,36	1,37	1	1	0	0	2
Pesado	Com. 2	4,49	1,05	1,66	1	0	1	0	3
Semi-Reb.	Com. 3	9,89	3,04	5,26	1	1	0	1	5
Ônibus	Com. 4	2,39	1,06	1,28	1	1	0	0	2

**Tabela 3 – Fatores de Veículos na Etapa de Projetos Básico e Executivo**

Classificação dos Veículos		FV			Combinação de Eixos				Nº de Eixos
		Flexível		Rígido	ESRS	ESRD	ETD	ETT	
Classe	Tipo	USACE	AASHTO						
2C (16)	Com. 1	0,09	0,11	0,11	1	1	0	0	2
2C (22)	Com. 2	2,78	1,89	1,91	1	1	0	0	2
3C (20)	Com. 3	2,28	0,55	0,93	1	0	1	0	3
3C (22)	Com. 4	5,44	1,27	1,97	1	0	1	0	3
2S1	Com. 5	4,09	2,81	2,99	1	2	0	0	3
2S2	Com. 6	8,70	3,14	3,96	1	1	1	0	4
2S3	Com. 7	10,27	3,32	5,95	1	1	0	1	5
3S3	Com. 8	9,42	1,90	5,01	1	0	1	1	6
3D4	Com. 9	17,28	4,09	6,25	1	0	3	0	7
3D6	Com. 10	14,02	3,27	5,08	1	0	4	0	9
Ôn. (2C)	Ônibus 2	2,81	1,88	1,90	1	1	0	0	2
Ôn. (3C)	Ônibus 3	2,21	0,71	1,02	1	1	0	0	3

Onde:

ESRS: eixo simples de rodas simples;

ESRD: eixo simples de rodas duplas;

ETD: eixo tandem duplo;

ETT: eixo tandem triplo;

Para a consideração do efeito causado pelas variações de umidade dos materiais constituintes do pavimento durante as diversas estações do ano, o que se traduz em variações da capacidade de suporte dos materiais, multiplica-se o número “N” por um coeficiente denominado fator climático regional, *FR*. Na pista experimental da AASHTO, *FR* variou de 0,2, representando ocasiões em que prevaleceram baixos teores de umidade, a 5,0, caracterizando ocasiões em que os materiais estavam praticamente saturados. No Brasil, costuma-se adotar *FR* igual a 1,0, considerando os resultados de pesquisas desenvolvidas



pelo DNER.

No Anexo B estão ilustrados exemplos de planilhas de cálculo do número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN.

O cálculo do número de repetições dos vários tipos de eixos e cargas necessita do conhecimento da distribuição de frequência das cargas por tipo de eixo, pela expressão abaixo.

$$N_{REP} = \sum_{i=1}^P N_{REP"i"}$$

$$N_{REP"i"} = VDM_C \times 365 \times D \times Fp$$

Onde:

$N_{REP}$ : número total acumulado de repetições do eixo tipo “x” com carga “y” por sentido direcional na faixa de projeto durante a vida de projeto;

$N_{REP"i"}$ : número total acumulado de repetições do eixo tipo “x” com carga “y” por sentido direcional na faixa de projeto durante o ano “i”;

$VDM_C$ : volume diário médio de eixos do eixo tipo “x” com carga “y” total durante o ano “i”;

$D$ : distribuição direcional (%);

$Fp$ : porcentagem de veículos comerciais na faixa de projeto (%).

Para se conhecerem os vários tipos de eixos e suas respectivas cargas que atuarão sobre o pavimento a ser projetado é necessária a realização de pesquisas de pesagem na área de influência do projeto para posterior estudo.

Entretanto, caso não se consigam dados de pesagens de veículos e se autorizados pela fiscalização do DER/SP, podem ser adotados os valores de cargas por tipo de eixo indicados nas Tabelas 4 e 5.

**Tabela 4 – Tipos de Eixos e Cargas na Etapa de Estudo Preliminar**

Classificação dos Veículos		Cargas (kN)				Nº de Eixos
		ESRS	ESRD	ETD	ETT	
Classe	Tipo					
Médio	Com. 1	50	90	-	-	2
Pesado	Com. 2	50	-	150	-	3
Semi-Reboque	Com. 3	55	95	-	165	5
Ôn (2C)	Com. 4	50	90	-	-	2



**Tabela 5 – Tipos de Eixos e Cargas na Etapa de Projetos Básico e Executivo**

Classificação dos Veículos		Cargas (kN)				Nº de Eixos
		ESRS	ESRD	ETD	ETT	
Classe	Tipo					
2C (16)	Com. 1	40	45	-	-	2
2C (22)	Com. 2	55	95	-	-	2
3C (20)	Com. 3	45	-	130	-	3
3C (22)	Com. 4	55	-	160	-	3
2S1	Com. 5	50	2 x 95	-	-	3
2S2	Com. 6	55	95	160	-	4
2S3	Com. 7	55	95	-	245	5
3S3	Com. 8	55	-	150	224	6
3D4	Com. 9	55	-	3 x 160	-	7
3D6	Com. 10	55	-	4 x 150	-	9
Ôn (2C)	Ônibus 2	55	95	-	-	2
Ôn (3C)	Ônibus 3	55	-	130	-	3

Onde:

ESRS: eixo simples de rodas simples;

ESRD: eixo simples de rodas duplas;

ETD: eixo tandem duplo;

ETT: eixo tandem triplo.

#### 5.4.2.3 Drenagem

A drenagem superficial da rodovia deve ser suficientemente adequada para escoar a água de forma rápida para fora da plataforma, não permitindo o acúmulo de água e, conseqüentemente, a infiltração para o interior da estrutura do pavimento.

Caso seja necessária, deve ser prevista a utilização de dispositivos de drenagem sub-superficial na estrutura de pavimento.

O lençol d'água subterrâneo deve estar rebaixado a, pelo menos, 1,5 m em relação ao greide da terraplenagem acabada.

#### 5.4.2.4 Parâmetros adicionais para a verificação mecanicista

Para a verificação mecanicista da estrutura de pavimento, é necessário o conhecimento dos parâmetros relativos à capacidade de suporte dos solos do subleito e do tráfego previsto para o período de projeto, além das propriedades dos materiais constituintes das camadas da estrutura do pavimento e de modelos de fadiga para estes materiais.



As cargas a serem inseridas na análise mecanicista devem simular o eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN, utilizando quatro pontos de aplicação da carga de 20 kN cada e pressão de contato pneu-pavimento de 0,56 MPa.

Nas Tabelas 6 e 7 a seguir, apresentam-se alguns valores recomendados para as propriedades dos materiais de pavimentação.

**Tabela 6 – Valores Usuais de Coeficiente de Poisson**

Material	Intervalo de Valores de Coeficiente de Poisson	Valor Recomendado de Coeficiente de Poisson
Concreto de cimento <i>Portland</i>	0,10 – 0,20	0,15
Materiais estabilizados com cimento	0,15 – 0,30	0,20
Misturas asfálticas	0,15 – 0,45	0,30
Materiais granulares	0,30 – 0,40	0,35
Solos do subleito	0,30 – 0,50	0,40

**Tabela 7 – Valores Usuais de Módulo de Resiliência ou Elasticidade**

Material	Intervalos de Valores de Módulo de Resiliência (MPa)
Concretos Asfálticos:	
- revestimento (CAP 50-70)	2000 – 5000
- revestimento (CAP 30-45)	2500 – 4500
- binder (CAP 50-70)	2000 – 3000
- binder (CAP 30-45)	2500 – 4000
Materiais granulares	
- brita graduada	150 – 300
- macadame hidráulico	250 – 450
Materiais estabilizados quimicamente	
- solo-cimento	5000 – 10000
- brita graduada tratada com cimento	7000 – 18000
- concreto compactado com rolo	7000 – 22000
Concreto de cimento <i>Portland</i>	30000 – 35000
Solos finos em base e sub-base	150 – 300
Solos finos em subleito e reforço do subleito	
- solos de comportamento laterítico LA, LA', LG'	100 – 200
- solos de comportamento não laterítico	25 – 75
Solos finos melhorados com cimento para reforço de subleito	200 – 400
Concreto de cimento <i>Portland</i>	28000 – 45000



Para os solos do subleito recomendam-se as seguintes correlações entre módulo de resiliência e capacidade de suporte ISC:

- solos lateríticos arenosos (LA') e lateríticos argilosos (LG'):

$$MR = 22 \times ISC^{0,8} \text{ (MPa)}$$

- solos não lateríticos siltsos (NS') e não lateríticos argilosos (NG'):

$$MR = 18 \times ISC^{0,64} \text{ (MPa)}$$

- solos arenosos pouco ou não coesivos:

$$MR = 14 \times ISC^{0,7} \text{ (MPa)}$$

Para a análise mecanicista de estrutura de pavimento utilizam-se modelos experimentais de fadiga de materiais. Portanto, é necessário que o projetista tenha conhecimento de diversos modelos publicados em literatura técnica, suas vantagens em relação a outros modelos de fadiga e suas limitações.

Para a adoção de expressões matemáticas de fadiga de materiais constituintes da estrutura do pavimento na avaliação da qualidade e do desempenho de determinado pavimento, é necessário compreender como e em quais condições as expressões matemáticas de fadiga foram obtidas.

Para a verificação mecanicista de estruturas de pavimentos são recomendadas as seguintes equações de fadiga referentes aos materiais revestimento de concreto asfáltico, bases ou sub-bases cimentadas de brita graduada tratada com cimento ou solo-cimento e do subleito.

a) revestimento de concreto asfáltico

As deformações horizontais de tração,  $\varepsilon_t$ , nas fibras inferiores das camadas asfálticas, causadas pelos carregamentos na superfície dos pavimentos, podem causar sua ruptura por fadiga se forem excessivas.

Para materiais asfálticos existem dois tipos principais de ensaios: deformação ou tensão controladas. No entanto, qualquer que seja o método de ensaio, vale a seguinte expressão:

$$N = K \times \left( \frac{1}{\varepsilon_t} \right)^n$$

Onde:

$N$ : número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto;

$\varepsilon_t$ : deformação específica horizontal na tração;

$K$  e  $n$ : coeficientes determinados por regressões lineares, particulares para cada tipo de mistura asfáltica e modificados para refletir o desempenho no campo.

Os ensaios de fadiga apresentam grande dispersão dos resultados, particularmente no que diz respeito às misturas asfálticas, devido não só à inerente heterogeneidade do material, como também às técnicas de ensaio de preparação dos corpos de prova, ti-



pos de ensaios etc.

Dentre as inúmeras equações de fadiga desenvolvidas por pesquisadores em estudos nacionais e internacionais, recomenda-se para a camada de revestimento de concreto asfáltico o emprego de umas das expressões matemáticas cujos parâmetros são indicados na Tabela 8 para a análise mecanicista.

**Tabela 8 – Número “N” em Função da Deformação Específica de Tração  $\epsilon_t$  da Fibra Inferior da Camada de Concreto Asfáltico**

Equação	Autor	Ano	K	n
1	FHWA ( <i>Federal Highway Administration</i> )	1976	$1,092 \times 10^{-6}$	3,512
2	<i>Asphalt Institute</i>	1976	$2,961 \times 10^{-5}$	3,291
3	Barker, Brabston & Chou	1977	$9,7 \times 10^{-10}$	4,03
4	Pinto & Preussler – CAP 50-70	1980	$2,85 \times 10^{-7}$	3,69

Deve-se considerar que o número “N” resultante é o obtido pela metodologia da AA-SHTO.

A expressão do *Asphalt Institute* foi simplificada para se ajustar ao formato da equação ilustrada anteriormente, adotando-se os valores médios para mistura asfáltica: módulo resiliente de 3000 MPa, volume de betume de 13,5% e volume de vazios de 4%.

b) subleito

A análise é realizada por comparação da máxima deformação específica vertical de compressão,  $\epsilon_v$ , atuante no topo do subleito, considerando-se sistema de camadas elásticas, com os valores admissíveis.

O critério de fadiga para deformações verticais de compressão do subleito é idêntico aos modelos adotados para a fadiga de misturas asfálticas e expresso por equação do tipo:

$$N = K \times \left( \frac{1}{\epsilon_v} \right)^n$$

Onde:

N: número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto;

$\epsilon_v$ : deformação específica horizontal na tração;

K e n: coeficientes determinados por regressões lineares, particulares para cada tipo de mistura asfáltica e modificados para refletir o desempenho no campo.

Dentre as inúmeras equações de fadiga para deformações verticais de compressão do subleito desenvolvidas por pesquisadores em estudos nacionais e internacionais, recomenda-se o emprego na análise mecanicista de uma das expressões matemáticas cujos parâmetros são indicados na Tabela 9.



**Tabela 9 – Número “N” em Função da Deformação Específica de Compressão  $\epsilon_v$  do Topo da Camada do Subleito**

Equação	Autor	Ano	K	n
1	Dormon & Metcalf	1965	$6,069 \times 10^{-10}$	4,762
2	Shell (Claessen, Edwards, Sommer, Uge)	Revisado em 1985	$6,15 \times 10^{-7}$	4,0
	50% de confiabilidade		$1,94 \times 10^{-7}$	4,0
	85% de confiabilidade		$1,05 \times 10^{-7}$	4,0
3	Asphalt Institute (Santucci)	1984	$1,338 \times 10^{-9}$	4,484

Deve-se considerar que o número “N” resultante é o obtido pela metodologia da U-SACE.

c) base ou sub-base de solo-cimento

As deformações horizontais de tração,  $\epsilon_t$ , ou tensões horizontais de tração,  $\sigma_t$ , na fibra inferior da camada de solo-cimento, causadas pelos carregamentos na superfície dos pavimentos, podem causar sua ruptura por fadiga se forem excessivas. Para a análise mecanicista recomenda-se a utilização da equação de fadiga quanto à flexão de misturas de solo-cimento pesquisadas por Ceratti<sup>(12)</sup> apresentada a seguir.

$$N = 10^{(SR - A / B)}$$

Onde:

N: número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto;

SR: relação entre tensões de tração na fibra inferior da camada cimentada (tensão atuante e tensão de ruptura);

A e B: coeficientes determinados por regressões lineares, particulares para cada tipo de mistura solo-cimento. Ver Tabela 10.

**Tabela 10 – Número “N” em Função da Relação de Tensões de Tração na Fibra Inferior da Camada de Solo-Cimento**

Equação	Tipo de Solo – Classificação MCT	A	B
1	Areias não lateríticas (NA)	125,63	-14,920
2	Areias lateríticas (LA)	64,01	- 0,822
3	Solos arenosos lateríticos (LA')	94,76	- 2,50
4	Solos argilosos lateríticos (LG')	67,59	- 1,03

Deve-se considerar que o número “N” resultante é o obtido pela metodologia da USACE.



d) base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento

Na camada de base ou sub-base de brita graduada tratada com cimento, ocorre a fadiga de forma idêntica à da camada de solo-cimento. As deformações horizontais de tração,  $\varepsilon_t$ , ou tensões horizontais de tração,  $\sigma_t$ , na fibra inferior da camada cimentada, causadas pelos carregamentos na superfície dos pavimentos, podem causar sua ruptura por fadiga se forem excessivas. Logo, para a análise mecanicista recomenda-se a equação de fadiga quanto à flexão de misturas de brita graduada tratada com cimento ensaiada *in situ* com o *Heavy Vehicle Simulator* desenvolvida na África do Sul.

$$N = 10^{7,19 \times \left(1 - \frac{\sigma_t}{8 \times \sigma_r}\right)}$$

Onde:

$N$ : número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN na tensão máxima de tração sob a camada cimentada,  $\sigma_t$ , requerido para se iniciar a primeira trinca por fadiga;

$\sigma_t$ : tensão de tração atuante (kgf/cm<sup>2</sup>);

$\sigma_r$ : tensão de tração na ruptura do material (kgf/cm<sup>2</sup>).

Com relação ao desempenho, a vida de serviço de um pavimento invertido pode ser caracterizada por duas fases distintas:

- fase íntegra: quando as camadas asfálticas e cimentadas sofrem consumo à fadiga, mas encontram-se ainda sem trincamento severo;
- fase pós-trincamento: quando a sub-base cimentada encontra-se trincada e a fadiga da camada asfáltica é acelerada.

À equação de fadiga da África do Sul, deve-se associar um modelo que prevê a progressão do trincamento através da camada cimentada em termos de redução do módulo de elasticidade efetivo da camada cimentada, sendo expresso pela seguinte expressão matemática:

$$\frac{E_{ef}}{E_0} = 0,1 + \frac{1}{0,505 \times (N / N_f)^2 - 0,125 \times (N / N_f) - 0,731}$$

Onde:

$E_{ef}$ : módulo de elasticidade efetivo da camada (kgf/cm<sup>2</sup>);

$E_0$ : módulo de elasticidade da mistura, camada íntegra (kgf/cm<sup>2</sup>);

$N$ : número acumulado de repetições de carga;

$N_f$ : número de repetições de carga necessário para o início do trincamento da camada (equação da África do Sul).

e) superfície do revestimento

Os deslocamentos verticais recuperáveis de um pavimento representam a resposta das camadas estruturais e do subleito à aplicação do carregamento. Quando uma carga é aplicada em um ponto da superfície do pavimento, todas as camadas fletam devido às tensões e às deformações geradas pelo carregamento, sendo que o valor do desloca-



mento geralmente diminui com a profundidade e com o distanciamento do ponto de aplicação da carga.

Dessa forma, é conveniente verificar o valor do deslocamento vertical recuperável máximo da superfície do pavimento, comparando-o com o valor de projeto obtido pelas expressões matemáticas do DNER-PRO 011/79<sup>(3)</sup> ou DNER-PRO 269<sup>(4)</sup>, que é função do número “N”. Esclareça-se que é comum também denominar o deslocamento vertical recuperável máximo da superfície do pavimento como deflexão.

As expressões matemáticas são do tipo:

$$\log D_{adm} = k - n \times \log N$$

Onde:

*N*: número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto;

*k* e *n*: coeficientes determinados por regressões lineares.

Recomenda-se empregar na análise mecanicista uma das equações cujos parâmetros são apresentados na Tabela 11.

**Tabela 11 – Deslocamento Vertical Recuperável em Função do Número “N”**

Equação	Procedimento	k	n
1	DNER-PRO 011/79	3,01	0,174
2	DNER-PRO 269/94	3,148	0,188

### 5.4.3 Dimensionamento Estrutural de Pavimento

#### 5.4.3.1 Pavimentos flexíveis

a) Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP

O método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DER/SP<sup>(1)</sup> tem como base o método de dimensionamento do DNER de 1966, com algumas reformulações.

O método fornece a estrutura de pavimento necessária para suportar o tráfego previsto durante o período de projeto adotado e para as condições geotécnicas dos solos do subleito vigentes na obra rodoviária, de modo a transmitir ao subleito tensões compatíveis com sua capacidade de suporte e permitir o tráfego de veículos.

Dependendo dos materiais e espessuras das camadas, dois ou mais pavimentos podem ser estruturalmente equivalentes. Com base nos resultados da pista experimental da AASHTO e nos materiais que compõem o pavimento, a sua equivalência estrutural pode ser estabelecida pelos coeficientes de equivalência estrutural K.

Os tipos e espessuras mínimas de revestimento asfáltico são dados em função do número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN, acumulado durante o período de projeto. A Tabela 12, diferentemente da tabela que consta no método, indica as espessuras mínimas de revestimento asfáltico recomendadas em função da experiência do DER/SP.



**Tabela 12 – Tipos e Espessuras Mínimas de Revestimento**

Tipo e Espessura do Revestimento Asfáltico	Número “N”
Tratamentos superficiais asfálticos duplos e triplos	$N \leq 1 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 5,0 cm de espessura	$1 \times 10^6 < N \leq 5 \times 10^6$
Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura	$5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura	$1 \times 10^7 < N \leq 2,5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura	$2,5 \times 10^7 < N \leq 5 \times 10^7$
Concreto asfáltico com 15,0 cm de espessura	$N > 5 \times 10^7$

Para revestimento de concreto asfáltico sobre base de solo-cimento, recomenda-se a execução de tratamento superficial simples ou duplo entre a base e o revestimento asfáltico, como ponte de aderência e camada de anti-reflexão de trincas.

As bases de solo arenoso fino de comportamento laterítico e de solo laterítico argiloso somente devem ser utilizadas para tráfego inferior a  $5 \times 10^6$  equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN. Deve ser executada camada de tratamento superficial simples sobre a camada de base com o objetivo de melhorar a interface entre a camada de base e a camada de revestimento em concreto asfáltico.

A espessura total da base e revestimento necessária para proteção da sub-base deve ser determinada considerando a capacidade de suporte ISC igual a 20%, mesmo se o material apresentar capacidade de suporte superior a 20%.

No entanto, se o ISC da sub-base for igual ou superior a 40% e para  $N \leq 5 \times 10^6$  equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN, admite-se substituir  $H_{20}$  na inequação  $R \times K + B \times K_B \geq H_{20}$ , por  $0,8 \times H_{20}$ . Para  $N \geq 5 \times 10^7$  equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN, deve-se substituir, na mesma inequação,  $H_{20}$  por  $1,2 \times H_{20}$ .

O coeficiente estrutural do reforço do subleito ou da sub-base granular deve ser igual a 1,0 toda vez que o ISC do material de um ou do outro for igual ou superior a três vezes o do subleito. Para relações inferiores, o coeficiente deve ser dado pela expressão:

$$K_{REF} = \sqrt[3]{\frac{ISC_1}{3 \times ISC_2}}$$

Onde:

$K_{REF}$ : coeficiente estrutural do reforço ou do subleito;

$ISC_1$ : capacidade de suporte do reforço do subleito ou da sub-base (%);

$ISC_2$ : capacidade de suporte do subleito (%).

Se o  $ISC_1$  do reforço ou da sub-base for superior a 20%, para efeito de cálculo da relação  $ISC_1 / ISC_2$  deve ser considerado como se fosse igual a 20%.

b) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – método da Resiliência

O método de dimensionamento da Resiliência do DNER<sup>(2)</sup> considera a capacidade de



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMISSÃO	jan/2006	FOLHA	30 de 53

suporte do subleito e das camadas de solos e granulares, como também suas propriedades resilientes, ou sejam, as deformações elásticas ou recuperáveis destes materiais sob a ação de cargas repetidas.

A resiliência excessiva faz-se notar mesmo em pavimentos bem dimensionados por critérios de resistência à ruptura plástica, sempre que as deflexões, deslocamentos elásticos verticais recuperáveis, medidas em provas de carga com viga *Benkelman* são elevados, ou quando o trincamento da superfície é prematuro. É o fenômeno da fadiga dos materiais que se manifesta em revestimentos asfálticos e bases cimentadas.

Quando se utiliza o método CBR de dimensionamento de pavimentos flexíveis, como o método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do antigo DNER e do DER/SP, não há como considerar explicitamente a resiliência. Pode-se, quando muito, estabelecer restrições específicas a determinados materiais e estruturas de pavimentos, e isto de modo totalmente empírico.

A análise de tensões e deformações de estruturas de pavimentos como sistemas de múltiplas camadas e a aplicação da teoria da elasticidade e do método dos elementos finitos, deram ensejo à consideração racional das deformações resilientes no dimensionamento de pavimentos.

O método é um procedimento baseado em modelos de resiliência, considerando a deflexão máxima prevista de uma estrutura proposta para uma determinada expectativa de vida de fadiga. Na metodologia, considera-se o valor estrutural da camada asfáltica em função do tipo de subleito e do tráfego de projeto, considerando ainda o comportamento elástico não-linear dos solos e materiais granulares da estrutura de pavimento.

É apresentada uma equação matemática que correlaciona a espessura total do pavimento em termos de material granular com coeficiente de equivalência estrutural  $K$  igual a 1,0 em função da capacidade de suporte ISC dos solos do subleito e do tráfego representado pelo número "N". O método define a espessura mínima de revestimento asfáltico necessária para a deflexão de projeto e para as constantes relacionadas às características resilientes do subleito.

Estabelece-se, ainda, uma equação de fadiga resultante de ensaios de compressão diametral de cargas repetidas sob tensão controlada que permita, para fins de projeto, relacionar a deflexão do pavimento com o número cumulativo de repetições do eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN.

Recomenda-se que a somatória das espessuras das camadas de base, sub-base e reforço do subleito, constituídas por materiais granulares, tais como: solo arenoso pedregulhoso, solo estabilizado granulometricamente, solo-brita, brita graduada e macadame, que contenham menos de 35% de material, em peso, passando na peneira de abertura de 0,075 mm, seja inferior ou igual a 0,35 m.

c) verificação mecanicista

A verificação mecanicista da estrutura de pavimento é realizada por meio da análise de deslocamentos, tensões e deformações. São considerados críticos o deslocamento vertical recuperável máximo na superfície do revestimento asfáltico, a deformação horizontal específica de tração na fibra inferior do revestimento e a deformação vertical de compressão no topo do subleito. O deslocamento vertical recuperável na super-



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMIÇÃO	jan/2006	FOLHA	31 de 53

fície do revestimento e a deformação horizontal de na fibra inferior da camada de revestimento estão relacionados com a fadiga, e a deformação vertical de compressão no topo do subleito está relacionada com a deformação permanente ou plástica.

Para a verificação mecanicista de estruturas de pavimentos podem ser utilizados diversos programas computacionais com métodos de análise de elementos finitos ou métodos das diferenças finitas. Entretanto os cálculos processados por computadores devem vir acompanhados dos documentos justificativos, a seguir discriminados:

- no caso de programas computacionais usualmente comercializados no mercado nacional: identificação do programa computacional; descrição do programa computacional utilizado, definindo os módulos utilizados, as hipóteses de cálculo utilizadas ou simplificações adotadas, dados de entrada, carregamento e resultados obtidos;
- no caso de programas computacionais de uso particular e exclusivo do projetista: identificação e descrição do programa computacional utilizado, com indicação da formulação teórica, hipóteses de cálculo utilizadas ou simplificações adotadas, dados de entrada, carregamento e resultados obtidos.

Os valores de carga, coeficiente de *Poisson* e módulos resilientes dos materiais constituintes das camadas da estrutura do pavimento são aqueles indicados no item 5.4.2.4, bem como as equações de fadiga.

Caso a projetista opte pela adoção de outros modelos de fadiga, estes devem ser justificados quanto à confiabilidade de seus resultados.

d) recomendações gerais

O emprego da mesma estrutura de pavimento para a pista de rolamento e para os acostamentos tem efeitos benéficos no comportamento da estrutura de pavimento da pista de rolamento, facilitando a drenagem e o procedimento construtivo.

As camadas de reforço do subleito, sub-base e base podem ser idênticas para a pista de rolamento e para os acostamentos.

Para a escolha da camada de revestimento dos acostamentos pode-se considerar o tráfego nos acostamentos como sendo da ordem de até 5% do tráfego na pista de rolamento.

Para rodovias de tráfego pesado com número “N” de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN superior ou igual a  $5 \times 10^7$ , recomenda-se considerar tráfego nos acostamentos da ordem de até 10% do tráfego da pista de rolamento para a escolha da camada de revestimento dos acostamentos.

O acostamento deve sempre ter estrutura de custo mais baixo do que a da pista de rolamento, exceto em casos excepcionais, como: corredor de grandes cargas e vias de elevado volume de tráfego com picos elevados em ocasiões específicas, quase sempre localizadas nas proximidades da cidade de São Paulo.

Recomenda-se o emprego de dreno de pavimento em todos os pontos baixos e passagens de corte para aterro e vice-versa, cujas extensão e localização devem ser definidas pelo projeto de drenagem.



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMISSÃO	jan/2006	FOLHA	32 de 53

#### 5.4.3.2 Pavimentos semi-rígidos

a) Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo – DER/SP

O método de dimensionamento de pavimentos flexíveis do DER/SP<sup>(1)</sup> pode ser utilizado na etapa de estudo preliminar para obtenção da estrutura do pavimento semi-rígido.

O procedimento de dimensionamento de pavimento semi-rígido é idêntico ao empregado para pavimento flexível, ressaltando o coeficiente estrutural para camadas de base e sub-base cimentadas que depende diretamente da resistência à compressão simples aos 7 dias de idade dos corpos de prova.

Para o caso de base e sub-base de solo-cimento devem-se adotar os coeficientes estruturais iguais a 1,2, 1,4 e 1,7 para as resistências à compressão simples aos 7 dias de idade entre 2,1 MPa e 2,8 MPa; entre 2,8 MPa e 4,5 MPa e superior a 4,5 MPa, respectivamente.

Para o caso de base e sub-base de brita graduada tratada com cimento deve-se adotar o valor de 1,7 para o coeficiente estrutural do material.

b) Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER

Para o dimensionamento de pavimento semi-rígido pelo método do DNER, deve-se definir preliminarmente o tipo de solo da camada de subleito quanto à resiliência. Sub-bases granulares são consideradas como solo tipo III.

O método de dimensionamento do DNER considera um sistema de três camadas, ou seja, uma estrutura de pavimento constituída por revestimento asfáltico, base cimentada e sub-base ou sub-leito.

Calcula-se a tensão de tração,  $\sigma_t$ , e a tensão vertical de compressão,  $\sigma_v$ , na fibra inferior da camada cimentada de acordo com as equações definidas para solos tipo I, II e III, e comparam-se os valores obtidos com os valores admissíveis de tensões de tração e de compressão.

Para o cálculo das tensões de tração e de compressão na camada cimentada é necessário o conhecimento prévio das espessuras das camadas de revestimento asfáltico e de base cimentada, bem como o valor do módulo de elasticidade da camada de base, motivo pelo qual deve-se realizar pré-dimensionamento do pavimento semi-rígido pelo método do DER/SP. A determinação do módulo de elasticidade da camada cimentada pode ser realizada pela equação que correlaciona o módulo com a resistência à compressão simples aos 28 dias de idade, apresentada no método de dimensionamento do DNER.

O método limita o valor da tensão vertical de compressão a 0,1 MPa para solos tipo I e a 0,05 MPa para solos tipo II e III.

A tensão de tração admissível na camada cimentada deve ser inferior ou igual a 70% da resistência à tração estática por compressão diametral.

A espessura da camada de base cimentada de acordo com o método do DNER deve ser superior a 15 cm. Recomenda-se utilizar espessura mínima de 17 cm.



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMISSÃO	jan/2006	FOLHA	33 de 53

c) verificação mecanicista

Para pavimento de estrutura semi-rígida valem as mesmas considerações realizadas para pavimentos flexíveis com relação à verificação mecanicista da estrutura dimensionada.

No entanto, são considerados críticos o deslocamento vertical recuperável máximo na superfície do revestimento asfáltico, a deformação horizontal de tração na fibra inferior do revestimento asfáltico, a tensão horizontal de tração na fibra inferior da camada cimentada e a deformação vertical de compressão no topo do subleito.

d) recomendações gerais

Para pavimento de estrutura semi-rígida valem as mesmas recomendações realizadas para pavimentos flexíveis.

Recomenda-se, ainda, a execução de tratamento superficial simples ou duplo sobre a camada de base de solo-cimento, como ponte de aderência entre a camada de rolamento de concreto asfáltico e a camada de base cimentada, como também camada anti-reflexão de trincas da camada cimentada para a camada asfáltica.

Para a verificação mecanicista da estrutura de pavimento semi-rígido com base de solo-cimento é imprescindível o conhecimento do módulo de elasticidade da mistura solo-cimento. Portanto, recomenda-se, após a dosagem da mistura de solo-cimento, a determinação em laboratório do valor do módulo de elasticidade.

### 5.4.3.3 Pavimentos rígidos

a) *Portland Cement Association* – PCA

O procedimento de dimensionamento da PCA<sup>(5)</sup>, versão de 1984, baseia-se em estudos teóricos clássicos sobre placas de concreto desenvolvidos por H. M. Westergaard e G. Pickett, em análises de computador empregando elementos finitos de autoria de S. D. Tayabji e B. E. Colley, em ensaios de laboratório e de modelos sobre o comportamento de juntas, sub-bases e acostamentos e sua influência no desempenho do pavimento, em pistas experimentais, especialmente a da AASHTO, em estudos realizados por órgãos rodoviários e aeroportuários e em observações metódicas de pavimentos em serviço.

Os métodos clássicos de dimensionamento de pavimentos rígidos baseiam-se na consideração das propriedades mecânicas do concreto, representadas pela resistência à tração na flexão, pelo suporte da fundação do pavimento e pelas características do carregamento. Os procedimentos atuais de dimensionamento de pavimentos rígidos permitem prever o comportamento da estrutura quanto à fadiga do concreto, à erosão da fundação do pavimento e à possibilidade de desnivelamento das juntas transversais, com conseqüente formação de degraus ou escalonamento das juntas sob o tráfego.

O procedimento exige o conhecimento da distribuição de freqüência das cargas por tipo de eixo. As informações necessárias para o dimensionamento do pavimento de concreto são:

- cargas por eixo simples, tandem duplo e tandem triplo;
- fator de segurança para as cargas;



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMIÇÃO	jan/2006	FOLHA	34 de 53

- número previsto de repetições das cargas por eixo durante o período de projeto;
- resistência característica à tração na flexão do concreto,  $f_{ctM,k}$ , aos 28 dias de idade;
- coeficiente de recalque do subleito ou do sistema subleito e sub-base;
- tipo de junta transversal, com ou sem barra de transferência;
- tipo de acostamento, se de concreto ou não.

O dimensionamento faz-se pelas análises de fadiga e de erosão da fundação do pavimento, de modo sistematizado por tabelas e ábacos.

Para o dimensionamento da estrutura de pavimento de concreto devem-se adotar os seguintes parâmetros:

- resistência característica à tração na flexão,  $f_{ctM,k}$ , superior ou igual a 4,5 MPa, aos 28 dias de idade;
- fator de segurança de cargas, variável entre 1,0 e 1,3. Recomenda-se adotar o valor de 1,2 para rodovias que possuem controle de pesagem dos caminhões ou rodovias em que a malha rodoviária lindeira tenha controle de pesagem; e 1,3 para rodovias que não possuem controle de pesagem dos caminhões;
- período de projeto de no mínimo 20 anos.

b) *American Association of State Highway and Transportation Officials – AASHTO*

O procedimento de dimensionamento de pavimento rígido da AASHTO<sup>(7)</sup>, versão de 1993, foi desenvolvido com base nos resultados de desempenho da pista experimental da AASHTO, sendo aplicado para pavimentos de concreto simples, pavimentos de concreto simples com ou sem barras de transferência e pavimentos de concreto com armadura distribuída contínua e descontínua.

O método da AASHTO<sup>(7)</sup> fornece a espessura necessária para a placa de concreto pela equação definida experimentalmente na pista de testes da AASHTO, em Illinois/EUA, para determinada perda de serventia do pavimento durante o período de vida útil da rodovia. A equação definida experimentalmente na pista de testes da AASHTO, bem como os parâmetros e as hipóteses de projeto a serem adotados, encontram-se descritos detalhadamente no manual da AASHTO de 1993, *Guide for Design of Pavement Structures*<sup>(7)</sup>.

Para o cálculo da espessura necessária para a placa de concreto é necessário definir:

- nível de confiabilidade do projeto, que é função da classe funcional do sistema viário. Recomenda-se adotar nível de confiabilidade entre 85% e 95%;
- desvio padrão global associado à precisão na previsão do tráfego de projeto. Os valores do desvio padrão global oscilam entre 0,30 e 0,40 para pavimentos rígidos. Quando a variância do tráfego futuro projetado é considerada juntamente com outras variâncias de modelos de previsão de desempenho de pavimentos, o valor estimado para o desvio padrão global é de 0,39. Para o caso onde a variância não é considerada, o valor estimado é de 0,34. Se, nos estudos detalhados de tráfego utilizando-se pesagens de veículos em movimento, for possível a previsão do tráfego de projeto com maior precisão e, conseqüentemente, menor variância, pode-se adotar o valor do desvio padrão global de 0,37;



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMIÇÃO	jan/2006	FOLHA	35 de 53

- coeficiente de drenagem para o cálculo da espessura necessária para a placa de concreto. O coeficiente de drenagem é função da qualidade da drenagem, que pode variar desde péssima até excelente, e da porcentagem do tempo durante o ano em que o pavimento se encontrará em níveis de umidade se aproximando do estágio de saturação. O coeficiente de drenagem é igual a 0,70 para pavimentos com qualidade da drenagem péssima e de mais de 25% do tempo durante o ano em condições próximas à saturação. Para pavimentos com drenagem excelente e de menos de 1% do tempo durante o ano em condições próximas à saturação, o coeficiente é igual a 1,25;
- coeficiente de transferência de carga, que exerce grande influência no cálculo da espessura da placa de concreto, além do grau de entrosamento dos agregados e da presença ou não de acostamentos de concreto ou de asfalto. O coeficiente de transferência de carga é função do tipo de pavimento, ou seja, pavimento de concreto simples com e sem barras de transferência ou pavimento de concreto continuamente armado. O coeficiente depende, também, da existência de acostamentos de concreto ou de asfalto e da existência ou não de dispositivos de transferência de carga. Para pavimentos de concreto com juntas reforçadas, com acostamento de concreto e com dispositivos de transferência de carga, o valor do coeficiente de transferência de carga varia entre 2,5 e 3,1. Para a mesma condição, porém, sem dispositivos de transferência de carga, o valor do coeficiente oscila entre 3,6 e 4,2. Para pavimentos de concreto com juntas reforçadas, com acostamento de asfalto e com dispositivos de transferência de carga, o valor do coeficiente de transferência de carga pode ser adotado 3,2. Para a mesma condição, porém, sem dispositivos de transferência de carga, o valor do coeficiente varia entre 3,8 e 4,4.

Para pavimentos de concreto continuamente armados, os valores dos coeficientes de transferência de carga são inferiores aos recomendados para pavimentos de concreto simples;

- além dos parâmetros já mencionados, é necessário o conhecimento do número "N" de equivalentes de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN durante o período de projeto adotado, do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura do concreto de cimento *Portland*, do módulo de reação do subleito ou do sistema subleito e sub-base, dos índices de serventia no início e no final do período de projeto e da variação de serventia durante o período de projeto.

c) verificação mecanicista

A verificação mecanicista da estrutura de pavimento rígido é realizada por meio da análise de tensões e deformações. São consideradas críticas a tensão ou a deformação da placa de concreto, bem como da sub-base cimentada, se houver.

Para a verificação mecanicista de estruturas de pavimentos rígido podem ser utilizados diversos programas computacionais com métodos de análise de elementos finitos. Entretanto os cálculos processados por computadores devem vir acompanhados dos documentos justificativos, a seguir discriminados:

- no caso de programas computacionais usualmente comercializados no mercado nacional: identificação do programa computacional; descrição do programa computacional utilizado, definindo os módulos utilizados, as hipóteses de cálculo uti-



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMIÇÃO	jan/2006	FOLHA	36 de 53

lizadas ou simplificações adotadas, dados de entrada, carregamento e resultados obtidos;

- no caso de programas computacionais de uso particular e exclusivo do projetista: identificação e descrição do programa computacional utilizado, com indicação da formulação teórica, hipóteses de cálculo utilizadas ou simplificações adotadas, dados de entrada, carregamento e resultados obtidos.

Os valores de carga, coeficiente de *Poisson* e módulos resilientes dos materiais constituintes das camadas da estrutura do pavimento são aqueles indicados no item 5.4.2.4.

Devem ser utilizadas na análise mecanicista as equações de fadiga da placa de concreto contidas na metodologia da PCA.

d) recomendações gerais

Para a estrutura de pavimento rígido valem as mesmas considerações mencionadas para a estrutura de pavimento flexível.

Embora o pavimento rígido não requeira altos índices de suporte da fundação para seu bom funcionamento, o pavimento de concreto beneficia-se largamente da adoção de sub-base estável e não bombeável. Este material impede a ocorrência de bombeamento de solos finos plásticos, uniformiza o suporte da fundação, evita o efeito danoso à estrutura do pavimento decorrente de mudanças excessivas de volume de solos instáveis do subleito e aumenta o valor do coeficiente de recalque, diminuindo a espessura das placas de concreto.

Para rodovias de tráfego intenso e pesado, devem-se adotar, obrigatoriamente, barras de transferência de esforços de cargas.

Para o projeto de juntas em pavimentos rodoviários de concreto deve ser utilizado o Estudo Técnico ET-13 da Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP<sup>(13)</sup>.

#### 5.4.3.4 Pavimentos de peças pré-moldadas de concreto

a) *Portland Cement Association* – PCA

O procedimento de dimensionamento de pavimentos de peças pré-moldadas de concreto de cimento *Portland* da PCA<sup>(16)</sup>, versão de 1984, é empregado tanto para pavimentos rodoviários onde o carregamento da estrutura do pavimento é resultante de esforços solicitantes provenientes de caminhões, reboques e semi-reboques, quanto para pavimentos industriais onde o carregamento da estrutura é resultante de esforços provenientes de guindastes, empilhadeiras de grande porte e transportadores de contêineres.

Para o dimensionamento de pavimentos de peças pré-moldadas de concreto de cimento *Portland* rodoviários é necessário o conhecimento da capacidade de suporte dos solos do subleito e o número equivalente de operações de eixo simples padrão de rodas duplas de 80 kN acumulado para o período de projeto.

O procedimento de dimensionamento da PCA<sup>(16)</sup> leva em consideração o intertravamento das peças pré-moldadas de concreto e pressupõe a resistência crescente das camadas a partir do subleito, de modo que as deformações por cisalhamento e por consolidação dos materiais sejam pequenas a ponto de reduzir ao mínimo as deforma-



ções verticais permanentes.

Para número “N” superior a  $5 \times 10^6$ , devem-se adotar bases tratadas com cimento e sub-bases granulares. Para número “N” inferior ou igual a  $5 \times 10^6$ , podem-se adotar bases e sub-bases granulares. Já para tráfego com número “N” inferior a  $1 \times 10^6$ , o material da sub-base deve apresentar valor de capacidade de suporte, ISC, mínimo de 20%. Para tráfego com número “N” entre  $1 \times 10^6$  e  $1 \times 10^8$ , a capacidade de suporte da sub-base deve ser superior ou igual a 30%.

A capacidade de suporte, ISC, da camada de base, quando esta for granular, deve ser superior ou igual a 80%.

O fator de equivalência estrutural proposto pelo método da PCA para camadas cimentadas é de 1,65 em relação às bases puramente granulares. Logo, a resistência à compressão simples aos 7 dias de idade deve ser superior a 4,5 MPa.

Recomenda-se as espessuras mínimas de 0,15 m e de 0,10 m para as camadas de materiais puramente granulares e de materiais tratados com cimento, respectivamente.

As peças pré-moldadas de concreto devem atender às exigências das normas brasileiras NBR 9780<sup>(9)</sup> e NBR-9781<sup>(10)</sup>. Devem apresentar as seguintes espessuras e resistências à compressão simples em função do tráfego previsto para o período de projeto, representado pelo número “N” de solicitações do eixo simples padrão:

- $N \leq 5 \times 10^6$ : espessura das peças de concreto igual a 0,06 m e resistência à compressão simples mínima de 35 MPa;
- $5 \times 10^6 < N \leq 1 \times 10^7$ : espessura das peças de concreto igual a 0,08 m e resistência à compressão simples mínima de 35 MPa;
- $N > 1 \times 10^7$ : espessura das peças de concreto igual a 0,10 m e resistência à compressão simples mínima de 50 MPa.

As peças pré-moldadas de concreto devem ser assentadas sobre uma camada de areia na espessura compactada variando entre 0,03 m e 0,05 m. Recomenda-se a espessura compactada de 0,04 m.

b) Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT

O procedimento de cálculo do DNIT<sup>(5)</sup> apresenta expressão matemática em função da carga por roda e o valor da capacidade de suporte do subleito, para determinação da espessura total do pavimento, bem como a espessura da base e sub-base.

A metodologia de cálculo é apresentada no item 4.6.7 do Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT<sup>(5)</sup>.

c) verificação mecanicista

Para pavimento de revestimento de peças pré-moldadas de concreto de cimento *Portland* valem as mesmas considerações efetuadas para estruturas de pavimentos flexíveis e semi-rígidos, com relação à verificação mecanicista da estrutura dimensionada. São consideradas críticas a tensão da base cimentada, se houver, e a deformação vertical de compressão no topo do subleito.

Para a verificação mecanicista de estruturas de pavimentos podem ser utilizados diversos programas computacionais com métodos de análise de elementos finitos ou métodos das diferenças finitas. Entretanto, os cálculos processados por computadores



devem vir acompanhados dos documentos justificativos, a seguir discriminados:

- no caso de programas computacionais usualmente comercializados no mercado nacional: identificação do programa computacional; descrição do programa computacional, definindo os módulos utilizados, as hipóteses de cálculo utilizadas ou simplificações adotadas, dados de entrada, carregamento e resultados obtidos;
- no caso de programas computacionais de uso particular e exclusivo do projetista: identificação e descrição do programa computacional utilizado, com indicação da formulação teórica, hipóteses de cálculo utilizadas ou simplificações adotadas, dados de entrada, carregamento e resultados obtidos.

Os valores de carga, coeficiente de *Poisson* e módulos resilientes dos materiais constituintes das camadas da estrutura do pavimento são aqueles indicados no item 5.4.2.4, bem como as equações de fadiga.

Caso a projetista opte pela adoção de outros modelos de fadiga, estes devem ser justificados quanto à confiabilidade de seus resultados.

## 6 FORMA DE APRESENTAÇÃO

A apresentação dos documentos técnicos do tipo memorial, relatórios e outros elaborados no formato ABNT A-4 deve seguir as instruções descritas na IP-DE-A00/001 de Elaboração e Apresentação de Documentos Técnicos. Os desenhos técnicos devem ser apresentados e elaborados conforme a instrução IP-DE-A00/003 de Elaboração e Apresentação de Desenhos de Projeto em Meio Digital.

A codificação dos documentos técnicos e desenhos deve seguir a instrução de codificação de documentos técnicos IP-DE-A00/002.

### 6.1 Estudo Preliminar

Deve ser apresentado memorial descritivo indicando os estudos e pesquisas realizadas com relação aos dados disponíveis de geologia e geotecnia, tráfego e, eventualmente, de dados de algum projeto existente na área de influência da obra, bem como as alternativas de pavimento estudadas e a solução eleita a partir de análise técnico-econômica simplificada.

No estudo preliminar devem ser apresentados estudo de alternativas de estruturas de pavimento acompanhadas de pré-dimensionamentos e a solução eleita a partir de análise técnico-econômica simplificada, desenhos de seção-tipo de pavimento e planilha de quantidades com orçamento preliminar da obra.

### 6.2 Projeto Básico

#### 6.2.1 Relatório de Estudo Geotécnico

Deve ser apresentado o relatório de estudos geológicos e geotécnicos executados, contendo os resultados das sondagens e ensaios laboratoriais e pesquisas de jazidas pedreiras e areais.

#### 6.2.2 Memorial de Cálculo

Deve conter a descrição dos serviços executados, as alternativas de soluções possíveis de



pavimentação e a alternativa selecionada pela projetista, todas acompanhadas de justificativas técnico-econômicas, resumo dos resultados de ensaios laboratoriais e de pesquisas realizadas. Também deve ser apresentado o memorial de cálculo justificativo das soluções desenvolvidas no projeto, com todos os métodos de dimensionamentos realizados, bem como a análise mecanicista da estrutura. Deve conter, ainda, cronograma estimado para implantação do pavimento e planilhas de quantidades com o orçamento da obra.

### 6.2.3 Desenhos

Devem ser adotadas as seguintes escalas:

- série normal – 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:25, 1:20;
- série especial – 1:10, 1:5, 1:2, 1:1.

A série especial destina-se à representação de detalhes. A série normal refere-se à apresentação de plantas de localização e seção-tipo transversal.

O projeto básico deve compreender detalhes gerais da obra, contendo, no mínimo:

- plantas de distribuição dos tipos de estruturas de pavimento;
- seções-tipo transversal de pavimento, com todos os detalhes e notas necessárias para a execução adequada dos serviços de pavimentação.

### 6.2.4 Detalhes Complementares

Devem ser elaboradas planilhas de quantidades e orçamentos de serviços e materiais previstos para a execução da obra. Devem ser respeitadas, sempre que possível, a discriminação e as especificações que constam na Tabela de Preços Unitários – TPU do DER/SP. A TPU vigente deve ser sempre a última publicada anteriormente à entrega do documento final ao DER/SP.

Os serviços previstos que não se enquadrarem naqueles discriminados na TPU devem ser perfeitamente definidos e descritos. Caso necessário, deve ser elaborada Especificação de Serviço para acompanhar o projeto.

Também deve ser apresentado cronograma estimativo para execução da obra.

## 6.3 Projeto Executivo

É o conjunto de documentos, tais como: memorial descritivo, memorial de cálculo, desenhos, especificações e orçamentos, perfeitamente definidos e completos, que tornam possível a perfeita execução da obra.

### 6.3.1 Memorial Descritivo

Devem conter a descrição dos serviços executados e o detalhamento da alternativa selecionada pela projetista, acompanhada de justificativa técnico-econômica, resultados de ensaios laboratoriais e de pesquisas realizadas. O memorial descritivo deve conter também planilhas de quantidades, quadro resumo das distâncias de transportes e demonstrativo do consumo de



materiais conforme modelos apresentados no Anexo C. Dever ser incluído no memorial descritivo o cronograma estimado para implantação do pavimento e o orçamento dos serviços de pavimentação.

### 6.3.2 Memorial de Cálculo

Deve conter a descrição da solução desenvolvida no projeto, com todos os cálculos de dimensionamentos realizados. Deve ser apresentada, também, a verificação mecanicista da estrutura de pavimento dimensionada, se solicitada pelo DER/SP.

### 6.3.3 Desenhos

Devem ser adotadas as seguintes escalas:

- série normal – 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:25, 1:20;
- série especial – 1:10, 1:5, 1:2, 1:1.

A série especial destina-se à representação de detalhes. A série normal refere-se à apresentação de plantas de localização e seção-tipo transversal.

O projeto executivo deve compreender detalhes gerais da obra, contendo, no mínimo:

- plantas de distribuição dos tipos de estruturas de pavimento. No caso de pavimento rígido, deve conter a apresentação da geometria e tipos de juntas;
- detalhes construtivos de encaixes de pavimento, drenos rasos, lajes de transição, juntas longitudinais e transversais de pavimento rígido etc.;
- seções-tipo transversal de pavimento, com todos os detalhes e notas necessárias para a execução adequada dos serviços de pavimentação.

### 6.3.4 Detalhes Complementares

Devem ser apresentados os detalhes necessários à boa execução da obra e ao fácil entendimento do projeto.

Deve ser apresentado, também, cronograma estimativo para execução da obra.

Na etapa de projeto executivo, com objetivo de auxiliar o controle tecnológico de obra, deve ser apresentada tabela com os valores de deslocamento verticais recuperáveis máximos na superfície de cada camada da estrutura de pavimento nos desenhos de seções-tipo transversais de pavimento.

### 6.3.5 Planilhas de Quantidade e Orçamento

Na elaboração das planilhas de quantidade e orçamento dos serviços e materiais previstos para a execução da obra, deve-se respeitar, sempre que possível, a discriminação e as especificações que constam na Tabela de Preços Unitários – TPU vigente do DER/SP. A TPU vigente deve ser sempre a última publicada anteriormente à entrega do documento final ao DER/SP.



Os serviços previstos que não se enquadrarem naqueles discriminados na TPU devem ser perfeitamente definidos e descritos. Caso necessário, deve ser elaborada Especificação de Serviço para acompanhar o projeto.

Deve ser apresentada planilha com o memorial de quantificação, elaborada de forma de fácil entendimento para posterior verificação das quantidades previstas para a obra. Recomenda-se que as quantidades sejam indicadas por tipo de intervenção e por atividades de serviços previstos na TPU, segmentando por elementos de obra, tais como: revestimento, imprimação asfáltica ligante, imprimação asfáltica impermeabilizante, base, sub-base, reforço do subleito, melhoria e preparo do subleito etc., indicando comprimento, largura, espessura, área, volume etc.

As áreas podem ser obtidas dos desenhos utilizando os recursos do programa computacional de elaboração do desenho.

### 6.3.6 Projetos com Materiais Diferentes

A utilização no projeto de qualquer tipo de material não especificado pelas normas brasileiras ou pelo DER/SP somente será admitida mediante autorização prévia e expressa do DER/SP.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Método de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis**. São Paulo, 1986. 21 p.
- 2 DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de Pavimentação – 697/100**. Rio de Janeiro, 1996. 320 p.
- 3 \_\_\_\_\_. **DNER-PRO 011/79** – Avaliação estrutural dos pavimentos flexíveis – Procedimento “B”. Rio de Janeiro, 1979. 16 p.
- 4 \_\_\_\_\_. **DNER-PRO 269/94** – Projeto de Restauração de Pavimentos Flexíveis – Tecna-pav. Rio de Janeiro, 1994. 17 p.
- 5 DEPARTAMENTO NACIONAL INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Pavimentos Rígidos – Publicação IP-714**. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2005. 234 p.
- 6 \_\_\_\_\_. **Manual de Pavimentação – Publicação IP-719**. 3ª edição. Rio de Janeiro, 2006. 274 p.
- 7 AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **Guide for Design of Pavement Structures**. Washington, D.C. 1993. 593 p.
- 8 PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Instruções de Projeto**. São Paulo. 2004. 238 p.
- 9 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9780**. Peças de Concreto para pavimentação – Determinação da resistência a compressão. Rio De Janeiro,



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMIÇÃO	jan/2006	FOLHA	42 de 53

1987.

- 10 \_\_\_\_\_. **NBR 9781**. Peças de Concreto para pavimentação. Rio De Janeiro, 1987.
- 11 NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. **Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos**. Ed. Villibor. São Paulo, 1995.
- 12 CERATTI, J. A. P. **Estudo do Comportamento à Fadiga de Solos Estabilizados com Cimento**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ. 1991.
- 13 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Estudo Técnico ET-13 – Projeto de juntas em pavimentos rodoviários de concreto**. São Paulo, 1998. 36 p.
- 14 \_\_\_\_\_. **Estudo Técnico ET-22 – Selagem de juntas em pavimentos de concreto**. São Paulo, 1998. 36 p.
- 15 \_\_\_\_\_. **Estudo Técnico ET-97 – Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários e Urbanos de Concreto pelo Método da PCA/84**. São Paulo, 1998. 91 p.
- 16 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Manual Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements**. Ottawa, 1984.

\_\_\_\_\_  
/ANEXO A



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMIÇÃO	jan/2006	FOLHA	43 de 53

**ANEXO A – VALORES DO PERCENTUAL  $t_{0,90}$  EM FUNÇÃO DOS VALORES  $n-1$**



**Tabela A-1 – Valores do Porcentual  $t_{0,90}$  em Função dos Valores n-1**

n - 1	$t_{0,90}$	n - 1	$t_{0,90}$	n - 1	$t_{0,90}$	n - 1	$t_{0,90}$
1	3,08	11	1,36	21	1,32	40	1,30
2	1,89	12	1,36	22	1,32	60	1,30
3	1,64	13	1,35	23	1,32	120	1,29
4	1,53	14	1,34	24	1,32	$\infty$	1,28
5	1,48	15	1,34	25	1,32		
6	1,44	16	1,34	26	1,32		
7	1,42	17	1,33	27	1,31		
8	1,40	18	1,33	28	1,31		
9	1,38	19	1,33	29	1,31		
10	1,37	20	1,32	30	1,31		

/ANEXO B



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMIÇÃO	jan/2006	FOLHA	45 de 53

## ANEXO B – EXEMPLOS DE PLANILHAS DE CÁLCULO DE NÚMERO “N”



INSTRUÇÃO DE PROJETO (CONTINUAÇÃO)

**Projeto:** Exemplo 1  
**Trecho:** único

- Volume Médio Diário Bidirecional  
- % de distribuição direcional =>  
- % de veículos comerciais na faixa solicitada =>  
- fator climático regional =>  
- f =>  
taxa de crescimento anual  
- % de veículos comerciais com carga máxima =>  
- % de veículos comerciais com sem carga (vazios) =>

D	50%
Fp	100%
FR	1,0
Tca	2%

X	70%	80%
Y	30%	20%

Com. 1 a 2 e Ônibus      Com. 5 a 10

Ano	VDM - Comerciais					FV frota			Vti	N anual			N acumulado		
	Com. 1	Com. 2	Com. 3	Ônibus 2C VDM <sub>2C</sub>	Total VDM <sub>CT</sub>	USACE	AASHTO	AASHTO		USACE	AASHTO	AASHTO	USACE	AASHTO	AASHTO
1	377	363	93	68	901	3,84	1,39	1,88	1,6E+5	6,3E+5	2,3E+5	3,1E+5	6,3E+5	2,3E+5	3,1E+5
2	385	370	95	69	919	3,84	1,39	1,88	1,7E+5	6,4E+5	2,3E+5	3,2E+5	1,3E+6	4,6E+5	6,2E+5
3	392	378	97	71	937	3,84	1,39	1,88	1,7E+5	6,6E+5	2,4E+5	3,2E+5	1,9E+6	7,0E+5	9,5E+5
4	400	385	99	72	956	3,84	1,39	1,88	1,7E+5	6,7E+5	2,4E+5	3,3E+5	2,6E+6	9,4E+5	1,3E+6
5	408	393	101	74	975	3,84	1,39	1,88	1,8E+5	6,8E+5	2,5E+5	3,3E+5	3,3E+6	1,2E+6	1,6E+6
6	416	401	103	75	995	3,84	1,39	1,88	1,8E+5	7,0E+5	2,5E+5	3,4E+5	4,0E+6	1,4E+6	2,0E+6
7	425	409	105	77	1015	3,84	1,39	1,88	1,9E+5	7,1E+5	2,6E+5	3,5E+5	4,7E+6	1,7E+6	2,3E+6
8	433	417	107	78	1035	3,84	1,39	1,88	1,9E+5	7,3E+5	2,6E+5	3,6E+5	5,4E+6	2,0E+6	2,7E+6
9	442	425	109	80	1056	3,84	1,39	1,88	1,9E+5	7,4E+5	2,7E+5	3,6E+5	6,2E+6	2,2E+6	3,0E+6
10	451	434	111	81	1077	3,84	1,39	1,88	2,0E+5	7,5E+5	2,7E+5	3,7E+5	6,9E+6	2,5E+6	3,4E+6
11	460	442	113	83	1098	3,84	1,39	1,88	2,0E+5	7,7E+5	2,8E+5	3,8E+5	7,7E+6	2,8E+6	3,8E+6
12	469	451	116	85	1120	3,84	1,39	1,88	2,0E+5	7,8E+5	2,8E+5	3,8E+5	8,5E+6	3,1E+6	4,1E+6
13	478	460	118	86	1143	3,84	1,39	1,88	2,1E+5	8,0E+5	2,9E+5	3,9E+5	9,3E+6	3,3E+6	4,5E+6
14	488	470	120	88	1166	3,84	1,39	1,88	2,1E+5	8,2E+5	2,9E+5	4,0E+5	1,0E+7	3,6E+6	4,9E+6
15	497	479	123	90	1189	3,84	1,39	1,88	2,2E+5	8,3E+5	3,0E+5	4,1E+5	1,1E+7	3,9E+6	5,4E+6
16	507	489	125	92	1213	3,84	1,39	1,88	2,2E+5	8,5E+5	3,1E+5	4,2E+5	1,2E+7	4,2E+6	5,8E+6
17	518	498	128	93	1237	3,84	1,39	1,88	2,3E+5	8,7E+5	3,1E+5	4,2E+5	1,3E+7	4,6E+6	6,2E+6
18	528	508	130	95	1262	3,84	1,39	1,88	2,3E+5	8,8E+5	3,2E+5	4,3E+5	1,4E+7	4,9E+6	6,6E+6
19	538	518	133	97	1287	3,84	1,39	1,88	2,3E+5	9,0E+5	3,3E+5	4,4E+5	1,4E+7	5,2E+6	7,1E+6
20	549	529	135	99	1313	3,84	1,39	1,88	2,4E+5	9,2E+5	3,3E+5	4,5E+5	1,5E+7	5,5E+6	7,5E+6

$V_{ti} = VDM_{CT} \times 365 \times D \times F_p$        $N_{anual} = V_{ti} \times FV_{frota} \times FR$        $N_{acumulado} = \Sigma N_{anual}$

Classificação dos Veículos	Tipo	FV		Combinação de Eixos				Número de eixos	
		FLEXIVEL	RIGIDO	ESRS	ESRD	ED	ET		
Classe		USACE	AASHTO	A	B	C	D		
Médio	Com. 1	1,98	1,36	1,37	1	1	0	0	2 EIXOS
Pesado	Com. 2	4,49	1,05	1,66	1	0	1	0	3 EIXOS
Semi-Reboque	Com. 3	9,89	3,04	5,26	1	1	0	1	5 EIXOS
Ôn (2C)	Ônibus	2,39	1,06	1,28	1	1	0	0	2 EIXOS

FV-1

$FV_{frota} = (1 / VDM_{CT}) \times [(VDM_{C1} \times FV-1) + (VDM_{C2} \times FV-2) + (VDM_{C3} \times FV-3) + (VDM-O \times FV-0)]$

**Figura B-1 – Modelo de Planilha de Determinação do Número “N” – USACE e AASHTO – Estudo Preliminar**



INSTRUÇÃO DE PROJETO (CONTINUAÇÃO)

Projeto:	Exemplo 1				
Trecho:	único				
- Volume Médio Diário Bidirecional					
- % de distribuição direcional =>	<table border="1"> <tr> <td>D</td> <td>50%</td> </tr> </table>		D	50%	
D	50%				
- % de veículos comerciais na faixa solicitada =>	<table border="1"> <tr> <td>Fp</td> <td>100%</td> </tr> </table>		Fp	100%	
Fp	100%				
- fator climático regional =>	<table border="1"> <tr> <td>FR</td> <td>1,0</td> </tr> </table>		FR	1,0	
FR	1,0				
- f =>	<table border="1"> <tr> <td>Tca</td> <td>2%</td> </tr> </table>		Tca	2%	
Tca	2%				
taxa de crescimento anual	Com. 1 a 4 e Ônibus      Com. 5 a 10				
- % de veículos comerciais com carga máxima =>	<table border="1"> <tr> <td>X</td> <td>70%</td> <td>80%</td> </tr> </table>		X	70%	80%
X	70%	80%			
- % de veículos comerciais com sem carga (vazios) =>	<table border="1"> <tr> <td>Y</td> <td>30%</td> <td>20%</td> </tr> </table>		Y	30%	20%
Y	30%	20%			

  

Ano	VDM - Comerciais										FV frota			Vti	N anual			N acumulado					
	Com. 1	Com. 2	Com. 3	Com. 4	Com. 5	Com. 6	Com. 7	Com. 8	Com. 9	Com. 10	Ônibus 2C	Ônibus 3C	Total		USACE	AASHTO	AASHTO	USACE	AASHTO	AASHTO	USACE	AASHTO	AASHTO
	VDM <sub>Com.1</sub>	VDM <sub>Com.2</sub>	VDM <sub>Com.3</sub>	VDM <sub>Com.4</sub>	VDM <sub>Com.5</sub>	VDM <sub>Com.6</sub>	VDM <sub>Com.7</sub>	VDM <sub>Com.8</sub>	VDM <sub>Com.9</sub>	VDM <sub>Com.10</sub>	VDM <sub>2C</sub>	VDM <sub>3C</sub>	VDM <sub>Total</sub>		flexível	flexível	rígido	flexível	flexível	rígido	flexível	flexível	rígido
1	264	113	254	109	0	29	62	2	0	0	66	2	901	2,89	1,05	1,46	1,6E+5	4,8E+5	1,7E+5	2,4E+5	4,8E+5	1,7E+5	2,4E+5
2	269	115	259	111	0	30	63	2	0	0	67	2	919	2,89	1,05	1,46	1,7E+5	4,9E+5	1,8E+5	2,5E+5	9,6E+5	3,5E+5	4,9E+5
3	275	118	264	113	0	30	65	2	0	0	69	2	937	2,89	1,05	1,46	1,7E+5	5,0E+5	1,8E+5	2,5E+5	1,5E+6	5,3E+5	7,4E+5
4	280	120	270	116	0	31	66	2	0	0	70	2	956	2,89	1,05	1,46	1,7E+5	5,1E+5	1,8E+5	2,6E+5	2,0E+6	7,1E+5	9,9E+5
5	286	122	275	118	0	31	67	2	0	0	71	2	975	2,89	1,05	1,46	1,8E+5	5,2E+5	1,9E+5	2,6E+5	2,5E+6	9,0E+5	1,3E+6
6	291	125	280	120	0	32	68	2	0	0	73	2	995	2,89	1,05	1,46	1,8E+5	5,3E+5	1,9E+5	2,7E+5	3,0E+6	1,1E+6	1,5E+6
7	297	127	286	123	0	33	70	2	0	0	74	2	1.015	2,89	1,05	1,46	1,9E+5	5,4E+5	1,9E+5	2,7E+5	3,5E+6	1,3E+6	1,8E+6
8	303	130	292	125	0	33	71	2	0	0	76	2	1.035	2,89	1,05	1,46	1,9E+5	5,5E+5	2,0E+5	2,8E+5	4,1E+6	1,5E+6	2,1E+6
9	309	132	298	128	0	34	73	2	0	0	77	2	1.056	2,89	1,05	1,46	1,9E+5	5,6E+5	2,0E+5	2,8E+5	4,8E+6	1,7E+6	2,3E+6
10	316	135	304	130	0	35	74	2	0	0	79	2	1.077	2,89	1,05	1,46	2,0E+5	5,7E+5	2,1E+5	2,9E+5	5,2E+6	1,9E+6	2,6E+6
11	322	138	310	133	0	35	76	2	0	0	80	2	1.098	2,89	1,05	1,46	2,0E+5	5,8E+5	2,1E+5	2,9E+5	5,8E+6	2,1E+6	2,9E+6
12	328	141	316	136	0	36	77	2	0	0	82	2	1.120	2,89	1,05	1,46	2,0E+5	5,9E+5	2,1E+5	3,0E+5	6,4E+6	2,3E+6	3,2E+6
13	335	143	322	138	0	37	79	3	0	0	84	3	1.143	2,89	1,05	1,46	2,1E+5	6,0E+5	2,2E+5	3,0E+5	7,0E+6	2,5E+6	3,5E+6
14	342	146	329	141	0	38	80	3	0	0	85	3	1.166	2,89	1,05	1,46	2,1E+5	6,2E+5	2,2E+5	3,1E+5	7,6E+6	2,8E+6	3,8E+6
15	348	149	335	144	0	38	82	3	0	0	87	3	1.189	2,89	1,05	1,46	2,2E+5	6,3E+5	2,3E+5	3,2E+5	8,2E+6	3,0E+6	4,2E+6
16	355	152	342	147	0	39	83	3	0	0	89	3	1.213	2,89	1,05	1,46	2,2E+5	6,4E+5	2,3E+5	3,2E+5	8,9E+6	3,2E+6	4,5E+6
17	362	155	349	150	0	40	85	3	0	0	91	3	1.237	2,89	1,05	1,46	2,3E+5	6,5E+5	2,4E+5	3,3E+5	9,5E+6	3,5E+6	4,8E+6
18	370	158	356	153	0	41	87	3	0	0	92	3	1.262	2,89	1,05	1,46	2,3E+5	6,7E+5	2,4E+5	3,4E+5	1,0E+7	3,7E+6	5,1E+6
19	377	161	363	156	0	41	89	3	0	0	94	3	1.287	2,89	1,05	1,46	2,3E+5	6,8E+5	2,5E+5	3,4E+5	1,1E+7	3,9E+6	5,5E+6
20	385	165	370	159	0	42	90	3	0	0	96	3	1.313	2,89	1,05	1,46	2,4E+5	6,9E+5	2,5E+5	3,5E+5	1,2E+7	4,2E+6	5,8E+6

Vti = VDM<sub>Com.1</sub> x 365 x D x Fp      N anual = Vti x FV frota x FR      N acumulado = Σ N anual

Classificação dos Veículos	FV		Combinação de Eixos				Número de eixos		
	USACE	AASHTO	ESRS	ESRD	ED	ET			
								X%CMIL + Y% VAZIO	A
2C (16)	Com. 1	0,09	0,11	0,11	1	1	0	0	2 EIXOS
2C (22)	Com. 2	2,78	1,89	1,91	1	1	0	0	2 EIXOS
3C (20)	Com. 3	2,28	0,55	0,93	1	0	1	0	3 EIXOS
3C (22)	Com. 4	5,44	1,27	1,97	1	0	1	0	3 EIXOS
2S1	Com. 5	4,09	2,81	2,99	1	2	0	0	3 EIXOS
2S2	Com. 6	8,70	3,14	3,96	1	1	1	0	4 EIXOS
2S3	Com. 7	10,27	3,32	5,95	1	1	0	1	5 EIXOS
3S3	Com. 8	9,42	1,90	5,01	1	0	1	1	6 EIXOS
3D4	Com. 9	17,28	4,09	6,25	1	0	3	0	7 EIXOS
3D6	Com. 10	14,02	3,27	5,08	1	0	4	0	9 EIXOS
Ôn (2C)	Ônibus 2	2,81	1,88	1,90	1	1	0	0	2 EIXOS
Ôn (3C)	Ônibus 3	2,21	0,71	1,02	1	1	0	0	3 EIXOS

FV frota = (1 / VDM<sub>Com.1</sub>) x [(VDM<sub>Com.1</sub> x FV-1) + (VDM<sub>Com.2</sub> x FV-2) + (VDM<sub>Com.3</sub> x FV-3) + (VDM<sub>Com.4</sub> x FV-4) + (VDM<sub>Com.5</sub> x FV-5) + (VDM<sub>Com.6</sub> x FV-6) + (VDM<sub>Com.7</sub> x FV-7) + (VDM<sub>Com.8</sub> x FV-8) + (VDM<sub>Com.9</sub> x FV-9) + (VDM<sub>Com.10</sub> x FV-10) + (VDM<sub>Ôn.2</sub> x FV-02) + (VDM<sub>Ôn.3</sub> x FV-03)]

Figura B-2 – Modelo de Planilha de Determinação do Número “N” – USACE e AASHTO – Projetos Básico e Executivo



INSTRUÇÃO DE PROJETO (CONTINUAÇÃO)

<b>Projeto:</b>	<b>Exemplo 1</b>					
<b>Trecho:</b>	<b>único</b>					
- Volume Médio Diário Bidirecional						
- % de distribuição direcional =>						
- % de veículos comerciais na faixa solicitada =>						
- fator climático regional =>						
- taxa de crescimento anual =>						
	D	50%				
	Fp	100%				
	FR	1,0				
	Tca	2%				
	<b>VDM - Comerciais</b>					
<b>Ano</b>	Com. 1	Com. 2	Com. 3	Ônibus 2C		
	VDM <sub>CT1</sub>	VDM <sub>CT2</sub>	VDM <sub>CT3</sub>	VDM <sub>CT0</sub>		
1	377	363	93	68		
2	385	370	95	69		
3	392	378	97	71		
4	400	385	99	72		
5	408	393	101	74		
6	416	401	103	75		
7	425	409	105	77		
8	433	417	107	78		
9	442	425	109	80		
10	451	434	111	81		
11	460	442	113	83		
12	469	451	116	85		
13	478	460	118	86		
14	488	470	120	88		
15	497	479	123	90		
16	507	489	125	92		
17	518	498	128	93		
18	528	508	130	95		
19	538	518	133	97		
20	549	529	135	99		
<b>Total Anual Acumulado na Faixa de Projeto</b>	1,67E+06	1,61E+06	4,12E+05	3,02E+05		
$V_{ti} = VDM_{CT} \times 365 \times D \times Fp$						
<b>Tipo de Eixo</b>	<b>ESRS</b>	1,67E+06	1,61E+06	4,12E+05	3,02E+05	
	<b>ESRD</b>	1,67E+06	-	4,12E+05	3,02E+05	
	<b>ED</b>	-	1,61E+06	-	-	
	<b>ET</b>	-	-	4,12E+05	-	
<b>Classificação dos Veículos</b>		<b>Carga (kN)</b>				<b>Número de eixos</b>
		<b>ESRS</b>	<b>ESRD</b>	<b>ETD</b>	<b>ETT</b>	
<b>Classe</b>	<b>Tipo</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	
Médio	Com. 1	50	90	-	-	2
Pesado	Com. 2	50	-	150	-	3
Semi-Reboque	Com. 3	55	95	-	165	5
Ônibus (2C)	Ônibus	50	90	-	-	2
<b>Tipo de Eixo</b>		<b>Carga (kN)</b>			<b>N</b>	
<b>Simplex</b>		50 - 60			4,00E+06	
		90 - 100			2,39E+06	
<b>Tandem Duplo</b>		140 - 150			1,61E+06	
<b>Tandem Triplo</b>		160 - 170			4,12E+05	

Figura B-3 – Modelo de Planilha de Determinação do Número “N” – PCA – Estudo Preliminar



INSTRUÇÃO DE PROJETO (CONTINUAÇÃO)

Projeto: Exemplo 1																				
Trecho: único																				
- Volume Médio Diário Bidirecional																				
- % de distribuição direcional =>		<table border="1"> <tr> <td>D</td> <td>50%</td> </tr> <tr> <td>Fp</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>FR</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>Tca</td> <td>2%</td> </tr> </table>											D	50%	Fp	100%	FR	1,0	Tca	2%
D	50%																			
Fp	100%																			
FR	1,0																			
Tca	2%																			
- % de veículos comerciais na faixa solicitada =>																				
- fator climático regional =>																				
- taxa de crescimento anual =>																				
Ano	VDM - Comerciais																			
	Com. 1	Com. 2	Com. 3	Com. 4	Com. 5	Com. 6	Com. 7	Com. 8	Com. 9	Com. 10	Ônibus 2C	Ônibus 3C								
	VDM <sub>Com.1</sub>	VDM <sub>Com.2</sub>	VDM <sub>Com.3</sub>	VDM <sub>Com.4</sub>	VDM <sub>Com.5</sub>	VDM <sub>Com.6</sub>	VDM <sub>Com.7</sub>	VDM <sub>Com.8</sub>	VDM <sub>Com.9</sub>	VDM <sub>Com.10</sub>	VDM <sub>2C</sub>	VDM <sub>3C</sub>								
1	264	113	254	109	0	29	62	2	0	0	66	2								
2	269	115	259	111	0	30	63	2	0	0	67	2								
3	275	118	264	113	0	30	65	2	0	0	69	2								
4	280	120	270	116	0	31	66	2	0	0	70	2								
5	286	122	275	118	0	31	67	2	0	0	71	2								
6	291	125	280	120	0	32	68	2	0	0	73	2								
7	297	127	286	123	0	33	70	2	0	0	74	2								
8	303	130	292	125	0	33	71	2	0	0	76	2								
9	309	132	298	128	0	34	73	2	0	0	77	2								
10	316	135	304	130	0	35	74	2	0	0	79	2								
11	322	138	310	133	0	35	76	2	0	0	80	2								
12	328	141	316	136	0	36	77	2	0	0	82	2								
13	335	143	322	138	0	37	79	3	0	0	84	3								
14	342	146	329	141	0	38	80	3	0	0	85	3								
15	348	149	335	144	0	38	82	3	0	0	87	3								
16	355	152	342	147	0	39	83	3	0	0	89	3								
17	362	155	349	150	0	40	85	3	0	0	91	3								
18	370	158	356	153	0	41	87	3	0	0	92	3								
19	377	161	363	156	0	41	89	3	0	0	94	3								
20	385	165	370	159	0	42	90	3	0	0	96	3								
<b>Total Anual Acumulado na Faixa de Projeto</b>	1,17E+06	5,01E+05	1,13E+06	4,83E+05	0,00E+00	1,29E+05	2,75E+05	8,87E+03	0,00E+00	0,00E+00	2,93E+05	8,87E+03								
<b>Vti = VDM<sub>Com.1-10</sub> x 365 x D x Fp</b>																				
Tipo de Eixo	ESRS	1,17E+06	5,01E+05	1,13E+06	4,83E+05	0,00E+00	1,29E+05	2,75E+05	8,87E+03	0,00E+00	0,00E+00	2,93E+05	8,87E+03							
	ESRD	1,17E+06	5,01E+05	-	-	0,00E+00	1,29E+05	2,75E+05	-	-	-	2,93E+05	-							
	ETD	-	-	1,13E+06	4,83E+05	-	1,29E+05	-	8,87E+03	0,00E+00	0,00E+00	-	8,87E+03							
	ETT	-	-	-	-	-	-	2,75E+05	8,87E+03	-	-	-	-							
Classificação dos Veículos		Cargas (kN)				Número de eixos														
Classe	Tipo	ESRS	ESRD	ETD	ETT															
		A	B	C	D															
2C (16)	Com. 1	40	45	-	-	2														
2C (22)	Com. 2	55	95	-	-	2														
3C (20)	Com. 3	45	-	130	-	3														
3C (22)	Com. 4	55	-	160	-	3														
2S1	Com. 5	50	2 x 95	-	-	3														
2S2	Com. 6	55	95	160	-	4														
2S3	Com. 7	55	95	-	245	5														
3S3	Com. 8	55	-	150	225	6														
3D4	Com. 9	55	-	3 x 160	-	7														
3D6	Com. 10	55	-	4 x 150	-	9														
Ônibus (2C)	Ônibus 2	55	95	-	-	2														
Ônibus (3C)	Ônibus 3	55	-	130	-	3														
		Tipo de Eixo		Carga (kN)		N														
		Simples		< 50		1,17E+06														
				50 - 60		2,82E+06														
				90 - 100		2,37E+06														
		Tandem Duplo		< 130		0,00E+00														
				130 - 140		1,14E+06														
				150 - 160		8,87E+03														
				160 - 170		6,12E+05														
		Tandem Triplo		< 240		8,87E+03														
				240 - 250		2,75E+05														

Figura B-4 – Modelo de Planilha de Determinação do Número “N” – PCA – Projetos Básico e Executivo

/ANEXO C



CÓDIGO	IP-DE-P00/001	REV.	A
EMIÇÃO	jan/2006	FOLHA	50 de 53

**ANEXO C – MODELOS DE PLANILHAS DE QUANTIDADES, QUADRO RESUMO DE  
DISTÂNCIAS DE TRANSPORTES E DEMONSTRATIVO DO CONSUMO DE MATERIAIS  
DOS SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO**



INSTRUÇÃO DE PROJETO (CONTINUAÇÃO)

MEMÓRIA DE CÁLCULO DE QUANTITATIVOS DE SERVIÇOS DE PAVIMENTAÇÃO																			
TRECHO:																			
RODOVIA:																			
Camada ou Serviço	Local	Acesso Est.	Entre Estacas				Extensão (m)	Largura (m)	Área CAE (m²)	Área Total (m²)	Esp. (cm)	Vol. (m³)	Densidade ou Taxa (t/m³)	Peso (t)	DMT (km)			Momento Transporte (m³ x km)	
			Int.	Final	Int.	Final									Fixa	Da fonte ao Seg.	No Seg.		DMT Seg.
Bínder Faixa C	Pista		0	153	0,00	3060	7,00		21420	8,0	1714	2,6	4455,4	0,0	14,2	1,5	15,7	26903,52	
	Pista	Inters.	153	0,00	174	0,00	420	7,00					757,1	0,0	12,0	0,3	12,2	3558,46	
	Pista	Inters.	174	0,00	200	0,00	520	7,00		3640	8,0	291	2,6	757,1	0,0				
	Pista	Inters.	240	0,00	258	0,00	360	7,00					5176,1	0,0	8,8	1,8	10,5	20983,03	
	Pista	Inters.	258	0,00	437	0,00	3580	7,00	175	24885	8,0	1991	2,6	5176,1	0,0				
	Pista	Inters.	437	0,00	460	0,00	460	7,00											
	Pista	Inters.	460	0,00	579	0,00	2380	7,00		16660	8,0	1333	2,6	3455,3	0,0	5,3	1,2	6,5	8663,20
	Pista	Inters.	579	0,00	636	0,00	1140	7,00		7980	8,0	638	2,6	1659,8	0,0	3,6	0,6	4,1	2630,21
	Pista	Inters.	708	0,00	785	0,00	1540	7,00		10780	8,0	862	2,6	2242,2	0,0	0,8	0,8	1,5	1328,10
	Pista	Inters.	785	0,00	815	0,00	600	7,00		4200	8,0	336	2,6	873,6	0,0	0,3	0,3	0,6	201,60
Pista	Inters.	924	0,00	992	0,00	1360	7,00		9520	8,0	762	2,6	1980,2	0,0	3,5	0,7	4,1	3153,02	
Pista	Inters.	1074	0,00	1130	0,00	1120	7,00		7840	8,0	627	2,6	1630,7	0,0	6,3	0,6	6,9	4327,68	
Pista	Inters.	1234	0,00	1434	0,00	4000	7,00		28000	8,0	2240	2,6	5824,0	0,0	11,0	2,0	13,0	29075,20	
<b>TOTAL do CBUQ - FAIXA B</b>											<b>10794</b>		<b>28064</b>		<b>DMT final 9,3 km</b>		<b>100824</b>		
Birta		Pedreira Pedracat								2,10	8526	64 %	17905	38	0,0	0,0	38	323997	
Areia		Porto de Areia Anhumas								1,50	4097	22 %	6146	54	0,0	0,0	54	221260	
Filer		Cimento (Sorocaba)								1,40	1884	9 %	2638	120	0,0	0,0	120	226119	
CAP 50-70		Refinaria de Paulínea / SP								1,02	1293	5 %	1319	150	0,0	0,0	150	193975	

Figura C-1 – Modelo de Planilha de Quantidades



INSTRUÇÃO DE PROJETO (CONTINUAÇÃO)

QUADRO - RESUMO DAS DISTÂNCIAS DE TRANSPORTES											
RODOVIA:		LOTE:									
SUBTRECHO:		TRECHO:				Transporte Local (DMT em km)				Transporte Comercial (DMT em km)	
Serviços	Material	Percorso		Destino	Dist. km	NP	P	Total	NP	P	Total
		Origem	Estaca								
Concreto Betuminoso Usinado a Quente CBUQ (Faixa C)	Brita	Pedreira Pedracat	0	Usina	38,0	-	-	-	-	38,0	38,0
	Areia	Areal Anhumas	0	Usina	54,0	-	-	-	-	54,0	54,0
	Filler (Cal Hidratada)	Fábrica (Sorocaba)	0	Usina	120,0	-	-	-	-	120,0	120,0
	CAP 50-70	Refinaria de Paulínea / SP	0	Usina	150,0	-	-	-	-	150,0	150,0
Concreto Betuminoso Usinado a Quente Camada de Intertrav. Micro Concreto Asfáltico a Quente (MCAQ)	CBUQ - massa	Usina	0	Pista	8,7	-	8,8	8,8	-	-	-
	Brita	Pedreira Pedracat	0	Usina	38,0	-	-	-	-	38,0	38,0
	Areia	Areal Anhumas	0	Usina	54,0	-	-	-	-	54,0	54,0
	Filler (Cal Hidratada)	Fábrica (Sorocaba)	0	Usina	120,0	-	-	-	-	120,0	120,0
Imprimadura Betuminosa Ligante	CAPM 04 (SBS)	Refinaria de Paulínea / SP	0	Usina	150,0	-	-	-	-	150,0	150,0
	CBUQ - massa	Usina	0	Pista	7,4	-	7,8	7,8	-	-	-
	Emulsão RR-2C	Refinaria de Paulínea / SP	0	Tanques	150,0	-	-	-	-	150,0	150,0
	Emulsão RR-2C	Tanques	0	Pista	8,8	-	8,9	8,9	-	-	-
Imprimadura Betuminosa Impermeabilizante	ADP CM-30	Refinaria de Paulínea / SP	0	Tanques	150,0	-	-	-	-	150,0	150,0
	ADP CM-30	Tanques	0	Pista	8,4	-	8,7	8,7	-	-	-
	Brita	Pedreira Pedracat	0	Canteiro	38,0	-	-	-	-	38,0	38,0
	Mistura	Canteiro	0	Pista	8,6	-	9,1	9,1	-	-	-
Base de BGS	Solo	Jazida 02	0	Canteiro	16,0	-	16,0	16,0	-	-	-
	Brita	Pedreira Pedracat	0	Usina	38,0	-	-	-	-	38,0	38,0
	Mistura	Canteiro	0	Pista	7,7	-	7,9	7,9	-	-	-
	Solo	Jazida 02	0	Usina	16,0	-	16,0	16,0	-	-	-
Reforço do Subleito Solo Selecionado	Mistura	Canteiro	0	Pista	9,0	-	15,0	15,0	-	-	-
	Brita	Pedreira Pedracat	0	Usina	38,0	-	-	-	-	38,0	38,0
	Mistura	Canteiro	0	Pista	7,7	-	11,0	11,0	-	-	-
	Remoção Pavimento	Pista	0	Bota-fora	8,9	-	18,6	18,6	-	-	-

(\*) Solo do próprio subleito

P = Rodovia Pavimentada

NP = Rodovia Não Pavimentada

Figura C-2 – Quadro Resumo de Distâncias de Transportes



INSTRUÇÃO DE PROJETO (CONTINUAÇÃO)

DEMONSTRATIVO DO CONSUMO DE MATERIAIS												
TRECHO:												
RODOVIA:												
SUBTRECHO:												
Material	Consumo Por m <sup>2</sup>			Consumo Por t			Consumo Por m <sup>3</sup>			Consumo Por t		
	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade	Unidade	Quantidade
Camada de Rolamento	Brita	1,037	t	1,659	m <sup>3</sup>	0,399	t	0,638				
CBUQ	Areia	0,379	t	0,569	m <sup>3</sup>	0,146	t	0,219				
Faixa C	Filler	0,174	t	0,244	m <sup>3</sup>	0,067	t	0,094				
	CAP 50-70	-	t	0,122	-	-	t	0,047				
Camada de Intertrav. de Trinças	Brita	0,790	t	1,659	m <sup>3</sup>	0,775	t	0,638				
	Areia	0,560	t	0,538	m <sup>3</sup>	0,549	t	0,207				
Micro Conc. Asf. Quente (MCAQ)	Filler	0,260	t	0,260	m <sup>3</sup>	0,255	t	0,100				
	CAP 50-70	-	t	0,143	-	-	t	0,055				
Sub-base ou Base de Solo Brita	Brita	0,713	t	1,140	m <sup>3</sup>	0,475	t	0,600				
	Solo	0,400	t	0,760	m <sup>3</sup>	0,267	t	0,400				
Base de BRITA GRADUADA	Brita	1,313	t	2,100	m <sup>3</sup>	0,625	t	1,000				
Reforço do Subleito	Solo	1,333	t	1,800	m <sup>3</sup>	0,741	t	1,000				
Consumo Por m <sup>2</sup>												
Imprimação	ADP CM-30	0,00125	t	0,00125	m <sup>3</sup>	-	t	0,960				
Pintura de Ligação	Emulsão RR-2C	0,0006	t	0,0006	m <sup>3</sup>	-	t	1,000				
Consumo Por m <sup>3</sup>												
Brita	Solo Brita	Solo Brita		Taxas (l / m <sup>2</sup> )	Imprimação	Pintura Ligação	CBUQ Faixa C	Micro Conc. Asf. Quente	Densidade	Solo	Brita	C
		40%	60%									
1,60	1,50	1,40	2,60	1,2	0,96	1,00	63,8%	63,8%	1,60	1,50	1,40	2,60
1,50	1,40	2,60	2,10	0,6	1,00	1,02	21,9%	20,7%	1,50	1,40	2,60	2,10
1,40	2,60	2,10	0,96		1,02	1,35	9,4%	10,0%	1,40	2,60	2,10	0,96
2,60	2,10	0,96	1,00		1,35	1,90	4,7%	5,5%	2,60	2,10	0,96	1,00
2,10	0,96	1,00	1,02		1,90				2,10	0,96	1,00	1,02
0,96	1,00	1,02	1,35						0,96	1,00	1,02	1,35
1,00	1,02	1,35	1,90						1,00	1,02	1,35	1,90
1,02	1,35	1,90							1,02	1,35	1,90	
1,35	1,90								1,35	1,90		
1,90									1,90			

Figura C-3 – Demonstrativo do Consumo de Materiais