

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL CURSO
DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

VINÍCIUS SIMÕES MARTINS
SAMUEL CAVALCANTI DE A. NETO

**PAVIMENTAÇÃO EM BLOCOS DE CONCRETO
INTERTRAVADOS**

RECIFE
2016

VINÍCIUS SIMÕES MARTINS

SAMUEL CAVALCANTI DE A. NETO

**PAVIMENTAÇÃO EM BLOCOS DE CONCRETO
INTERTRAVADOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Pernambuco para a obtenção do título de
Engenheiro Civil.

Área de Concentração: Estradas e
Transportes.

Banca: Prof. Mauricio Renato Pina
Moreira, Presidente (Orientador)

RECIFE

2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

M379p Martins, Vinícius Simões
Martins e Pavimentação em blocos de concreto intertravados. / Vinícius Simões
Samuel Cavalcanti A. Neto - 2016.
49folhas, Ils.; e Tab.

Orientador: Profº Maurício Renato Pina Moreira

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Graduação em Engenharia Civil, 2016.
Inclui Referências e Anexos.

1. Engenharia Civil. 2. Pavimentação. 3. Condições Técnicas. 4. Blocos pré-moldados de concretos. 5. Posições Geográficas. I. A. Neto, Samuel Cavalcanti. II. Moreira, Maurício Renato Pina (Orientador). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2016-181

AGRADECIMENTOS

Agrademos a nossa família por todo o apoio e incentivo dado, aos amigos e colegas que nos incentivaram e compartilharam experiências e ao nosso professor orientador Mauricio Pina, por ter nos dado a oportunidade deste trabalho e pelos esclarecimentos sempre prestados com muita objetividade e conteúdo.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	2
1.1 Apresentação.....	2
1.2 Justificativas e Objetivos.....	4
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Classificação das Rodovias.....	4
2.2 Caracterização de Tráfego.....	7
2.3 Classificação dos pavimentos rodoviários.....	8
2.4 Blocos Intertravados – Especificação e Métodos de ensaio.....	9
2.5 Pavimento Intertravado com peças de concreto – Execução.....	14
2.6 Métodos de Dimencionamento.....	26
ANEXO “A”	33
ANEXO “B”	38
ANEXO “C”	41
ANEXO “D”	45
3. REFERÊNCIA E BIBLIOGRAFIA	49

O presente trabalho de conclusão de curso traz transcrições das normas Nbr 9781:2013, Nbr 15953:2011 e da IP-06/2004 Dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto da prefeitura de São Paulo.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

“A busca pela racionalização dos processos construtivos, visando redução de custos e garantia da qualidade, tem sido uma constante entre as empresas construtoras brasileiras. A pavimentação articulada e intertravada em blocos pré-moldados de concreto constitui uma excelente alternativa tanto do ponto de vista técnico como econômico. Trata-se de uma opção intermediária entre os pavimentos rígidos e flexíveis, somando vantagens de ambos e descartando algumas desvantagens de cada um deles.

Desde a década de 1980, com a disponibilidade no mercado de equipamentos de grande produtividade e com elevado grau de precisão dimensional, a indústria de pavimentos de peças pré-moldadas de concreto –PPC - vem crescendo em grandes proporções em todo o mundo, inclusive no Brasil. O que era um tipo de material utilizado apenas em áreas que demandavam efeitos arquitetônicos ou paisagísticos, deu lugar a um material único extremamente versátil para harmonizar qualquer tipo de pavimento, inclusive o industrial e rodoviário, tanto esteticamente quanto estruturalmente. Outra característica de destaque neste tipo de pavimento é sua manutenção, que ao contrário de outros tipos de pavimento que demandam equipamentos dispendiosos, pode ser realizada com uma pequena equipe e ferramentas manuais.

No momento, a tecnologia de pavimentos de peças pré-moldadas de concreto oferece a opção do assentamento mecânico, dando competitividade ao material em termos de velocidade na sua aplicação. Técnicas como esta ainda não estão disponíveis em nosso país.

Smith (2003) relata que, nos Estados Unidos, a cada cinco anos dobra a quantidade em metros quadrados de área aplicada de Peças Pré-moldadas de

Concreto. O que era 4 milhões de metros quadrados em 1980, em 2000 já atingia a marca de 40 milhões a mais de metros quadrados aplicados. Para 2005, o mesmo autor prevê que serão utilizados mais 60 milhões de metros quadrados. O mesmo crescimento tem sido registrados na Bélgica, Alemanha, Austrália, Nova Zelândia e África do Sul.

No Brasil, este consumo tem sido registrado pela Associação Brasileira de Cimento Portland como um dos mais expressivos dos produtos pré-moldados que utilizam o cimento portland.

Diante da importância deste material de pavimentação, e por ainda haver limitado estudo em nosso país deste tema, este trabalho visa inicialmente a promover uma discussão geral dos métodos de dimensionamento, materiais e as normas brasileiras atuais em relação às especificações internacionais.

A pavimentação intertravada em blocos pré-moldados tem se destacado, sobretudo, pela sua alta resistência mecânica e pela grande facilidade de execução e manutenção, não exigindo inclusive mão-de-obra especializada.

Dentre as vantagens que justificam a sua adoção, a pavimentação intertravada com blocos pré-moldados de concreto também se enquadra perfeitamente dentro dos padrões estéticos atuais.

1.2 Justificativas e Objetivos

A pavimentação urbana com revestimento em blocos pré-moldados de concreto de cimento Portland constitui-se em alternativa estrutural de pavimento de modelo semi-rígido, apresentando algumas vantagens em relação aos modelos com maior rigidez. O pavimento com blocos pré-moldados representa uma versão moderna e com grandes aperfeiçoamentos dos antigos calçamentos, efetuados com blocos de cantaria (paralelepípedos), notando-se evolução destacada na forma, em planta, dos blocos e no seu processo de fabricação.

Frente à grande utilização desse tipo de pavimentação, tanto da iniciativa pública quanto da iniciativa privada, por inúmeras vantagens da sua utilização, experiência própria com obras utilizando esse tipo de recurso, nos sentimos motivados e no dever, como futuros engenheiros civis, de adquirir junto a esse trabalho de conclusão de curso mais conhecimento técnico sobre o tema.

Espera-se que o conteúdo aqui produzido gere contribuições na área da Engenharia de Estradas e Tráfego, e, possivelmente, para alguma futura implantação do pavimento semi-flexível na via dimensionada.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Classificação das Rodovias

2.1.1 Quanto à posição geográfica

Quanto a posição geográfica as rodovias iniciadas pela sigla br se classificam da seguinte forma:

Ter-se-á, portanto para o primeiro algarismo referente à posição geográfica:

- 0 - Rodovias Radiais: são aquelas que partem de Brasília, em qualquer direção, para ligá-la às capitais estaduais ou a pontos periféricos importantes do País;
- 1 - Rodovias Longitudinais: possuem direção predominantemente Norte-Sul e que, por força de sua grande extensão (maior que 200 km), constituem, em geral, vias de ligação nacional;
- 2 - Rodovias Transversais: são as que têm direção predominantemente Leste-Oeste e que, normalmente, possuem extensão maior que 200 km;
- 3 - Rodovias Diagonais: possuem direção oblíqua em relação aos paralelos, ou seja, direções Nordeste - Sudoeste ou Noroeste - Sudeste;
- 4 - Rodovias de Ligação; rodovias ligam pontos importantes das outras categorias.

2.1.2 Quanto à função

A classificação funcional rodoviária é o processo de agrupar rodovias em sistemas e classes, de acordo com o tipo de serviço que as mesmas proporcionam e as funções que exercem. Quanto à função, as rodovias classificam-se em:

- Rodovias Arteriais: proporcionam alto nível de mobilidade para grandes volumes de tráfego. Sua principal função é atender ao tráfego de longa distância, seja internacional ou interestadual.

- Rodovias Coletoras: atende a núcleos populacionais ou centros geradores de tráfego de menor vulto, não servidos pelo Sistema Arterial. A função deste sistema é proporcionar mobilidade e acesso dentro de uma área específica
- Rodovias Locais: constituídas geralmente por rodovias de pequena extensão, destinadas basicamente a proporcionar acesso ao tráfego intramunicipal de áreas rurais e de pequenas localidades às rodovias mais importantes.

2.1.3 Quanto à jurisdição

- Estradas Federais: é, em geral, uma via arterial e interessa diretamente à Nação, quase sempre percorrendo mais de um Estado. São construídas e mantidas pelo governo federal;
- Estradas Estaduais: são as que ligam, entre si, cidades e a capital de um estado. São construídas e mantidas pelo governo estadual. Têm usualmente a função de arterial ou coletora;
- Estradas Municipais: são construídas pelo governo municipal e se destinam ao interesse deste;
- Estradas Vicinais: são, em geral, estradas municipais, pavimentadas ou não, de uma só pista, locais, e de padrão técnico modesto. Promovem a integração demográfica e territorial da região na qual se situam e possibilitam a elevação do nível de renda do setor primário. Podem também ser privadas, no caso de pertencerem a particulares.

2.1.4 Quanto às condições técnicas

Recomenda-se adotar, como critério para a classificação técnica de rodovias, o volume de tráfego que deverá utilizar a rodovia no 10º ano após sua abertura ao tráfego (VMD no ano-horizonte de projeto).

O Projeto Geométrico de uma estrada é condicionado principalmente pelo tráfego previsto para nela circular. Tal tráfego permite o estabelecimento da Classe da Estrada e o adequado dimensionamento de todos os seus elementos.

As Normas para Projeto das Estradas de Rodagem, aprovadas em 1949 e

usadas originalmente pelo DNER, classificavam as estradas da seguinte forma:

- Classe Especial: Acima de 2000 veículos/dia;
 - Classe I: De 1000 a 2000 veículos/dia;
 - Classe II: De 500 a 1000 veículos/dia;
 - Classe III: até 500 veículos/dia.

Atualmente, além do tráfego, a importância e a função da rodovia constituem elementos para seu enquadramento em determinada classe de projeto, podendo as estradas serem classificadas em:

- Classe 0 (via expressa): rodovia do mais elevado padrão técnico, com controle total de acesso. O critério de seleção dessas rodovias será o de decisão administrativa dos órgãos competentes;
- Classe I: as rodovias integrantes desta classe são subdivididas em estradas de Classe IA (pista dupla) e Classe IB (pista simples). A rodovia classificada na Classe IA possui pista dupla e controle parcial de acesso. O número total de faixas será função dos volumes de tráfego previstos para o ano-horizonte de projeto. Já as estradas pertencentes à Classe IB são caracterizadas por rodovias de alto padrão, suportando volumes de tráfego, conforme projetados para o 10º ano após a abertura ao tráfego;
- Classe II: rodovia de pista simples, suportando volumes de tráfego (10º ano) compreendidos entre os seguintes limites: $700 < \text{VMD} \leq 1400$ veículos, bidirecionais;
- Classe III: rodovia de pista simples, suportando volumes de tráfego (10º ano) compreendidos entre os seguintes limites: $300 \leq \text{VMD} \leq 700$ veículos, bidirecionais;
- Classe IV: rodovia de pista simples, as quais podem ser subdivididas em estradas Classe IVA (veículos, bidirecionais) e estradas Classe IVB (VMD < 50 veículos, bidirecionais).

Onde o VMD é o Volume Médio Diário, que equivale à quantidade média de veículos que passa numa seção da estrada, durante um dia.

2.1.5 Quanto ao relevo

Segundo as normas técnicas, as características técnicas das estradas são estabelecidas em função da Classe da Estrada e da Região ou terreno onde ela será construída. Originalmente, a Norma de estradas do DNER estabeleceu três tipos de regiões:

- Plana;
- Ondulada;
- Montanhosa.

2.2 Caracterização do Tráfego

A adoção do revestimento com peças de concreto pré-moldadas poderá levar em conta, além do custo e do prazo para implantação, os seguintes aspectos:

- Quando forem relevantes no projeto, as propriedades características do concreto, como a resistência à compressão, abrasão e ação de agentes agressivos;
- Quando for relevante no projeto, a utilização de mão-de-obra não especializada e de fácil obtenção no local, tendo em vista a relativa simplicidade do processo construtivo do revestimento;
- Quando for relevante no empreendimento, a imediata liberação ao tráfego pós a conclusão dos serviços;
- Quando, na via urbana a ser pavimentada, estiver previstos melhoramentos futuros, como instalações de canalização subterrânea, pela facilidade de remoção dos blocos e seu posterior reaproveitamento;
- Quando o greide de fundação do pavimento estiver com o nível d'água próximo à superfície.

O Quadro 1 resume os principais parâmetros de classificação das vias obtidas da referida instrução.

No presente método de dimensionamento, foi considerado que a carga máxima legal no Brasil é de 10 toneladas por eixo simples de rodagem dupla (100kN/ESRD).

Quadro 1. Classificação das vias e parâmetros de tráfego

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente / Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão/ Ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	$2,70 \times 10^4$ a $1,40 \times 10^5$	10^5
Via Local e Coletora	MÉDIO	10	401 a 1500	21 a 100	1,50	$1,40 \times 10^5$ a $6,80 \times 10^5$	5×10^5
Vias Coletoras e Estruturais	MEIO PESADO	10	1501 a 5000	101 a 300	2,30	$1,4 \times 10^5$ a $3,1 \times 10^6$	2×10^6
	PESADO	12	5001 a 10000	301 a 1000	5,90	$1,0 \times 10^7$ a $3,3 \times 10^7$	2×10^7
	MUITO PESADO	12	> 10000	1001 a 2000	5,90	$3,3 \times 10^7$ a $6,7 \times 10^7$	5×10^7
Faixa Exclusiva de Ônibus	VOLUME MÉDIO	12		< 500		3×10^6 (1)	10^7
	VOLUME PESADO	12		> 500		5×10^7	5×10^7

2.3 Classificação dos pavimentos rodoviários

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT, os pavimentos são classificados em flexíveis, semi-rígidos e rígidos:

- Flexível: aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas;
- Semi-Rígido: caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias e revestida por uma camada asfáltica;
- Rígido: aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões

provenientes do carregamento aplicado.

2.4 Blocos intertravados – Especificação e métodos de ensaio

2.4.1 Termos e definições

2.4.1.1 Peça de Concreto

Componente pré-moldado de concreto, utilizado como material de revestimento em pavimento intertravado.

2.4.1.2 Pavimento Intertravado

Pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída por peças de concreto justapostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção.

2.4.1.3 Peça complementar

Peça de concreto ou parte de peça utilizada para complementar a paginação do revestimento, constituída pelas peças de concreto principais no pavimento intertravado.

2.4.1.4 Espaçador de junta

Dispositivo incorporado à peça de concreto no momento de sua fabricação para facilitar a uniformidade de espessura das juntas.

2.4.1.5 Índice de forma (*F*)

Relação entre o comprimento e a espessura da peça de concreto.

2.4.2 Requisitos Especificos

2.4.2.1 Formatos

As peças de concreto podem ser produzidas em diversos formatos. Estes formatos são agrupados conforme 5.1.1 a 5.1.4 e ilustrados no Anexo D da norma.

Tipo I

Peças de concreto com formato próximo ao retangular, com relação comprimento/largura igual a dois, que se arranjam entre si nos quatro lados e podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe.

Tipo II

Peças de concreto com formato único, diferente do retangulare que só podem ser assentadas em fileiras.

Tipo III

Peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triedros etc., com peso superior a 4 kg.

Tipo IV

Conjunto de peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento.

2.4.2.2 Dimensões e tolerâncias

As dimensões e tolerâncias das peças de concreto devem atender aos seguintes requisitos:

a) medida nominal do comprimento de no máximo 250 mm;

b) medida real da largura de no mínimo 97 mm na área da peça destinada à aplicação de carga no ensaio de resistência à compressão, conforme especificado no Anexo A;

NOTA As peças de concreto utilizadas no ensaio de resistência à compressão podem apresentar pontos com largura inferior a 100 mm, desde que possua uma área plana isenta de rebaixos e juntas falsas onde possa ser inscrito um círculo de 85 mm de diâmetro.

c) medida nominal da espessura de no mínimo 60 mm, especificada em múltiplos de 20 mm;

d) tolerâncias dimensionais conforme especificado na Tabela 1;

e) o índice de forma (IF) para peças de concreto utilizadas em vias com tráfego de veículos ou áreas de armazenamento deve ser menor ou igual a 4.

Tabela 1 – Tolerâncias dimensionais das peças de concreto

Dimensões em milímetros

Comprimento	Largura	Espessura
±3	±3	±3

2.4.2.3 Aspectos gerais

2.4.2.3.1 Espaçador de juntas

As peças de concreto devem obrigatoriamente ter espaçador incorporado, devendo atender aos requisitos da ABNT NBR 15953 quanto à espessura das juntas.

2.4.2.3.2 Chanfro

A especificação do chanfro nas peças de concreto depende de aspectos construtivos, da capacidade estrutural e do conforto de rolamento, podendo ser utilizadas peças sem chanfros nos casos específicos.

Nas peças de concreto chanfradas, o chanfro deve apresentar, tanto na projeção horizontal como na projeção vertical, no mínimo 3 mm e no máximo 6 mm, conforme Figura 1.

NOTA O chanfro da peça de concreto pode ser reto ou baleado,

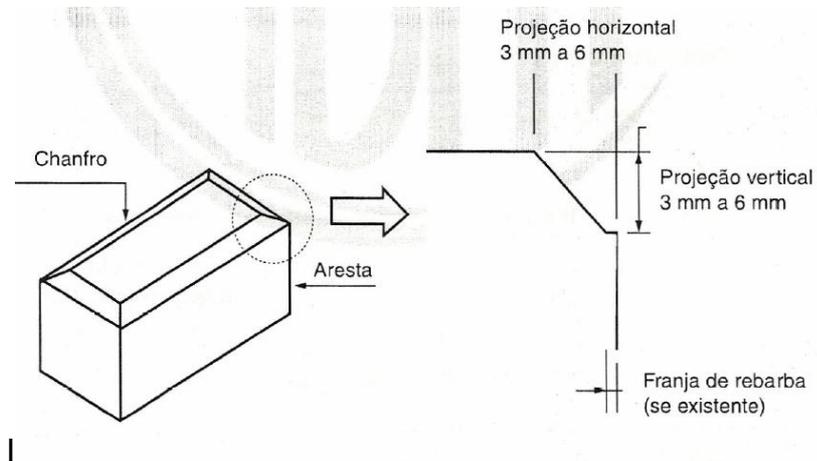


Figura 1 - Chanfro de uma peça de concreto

2.4.2.3.3 Arestas

As peças de concreto devem apresentar arestas regulares nas paredes laterais e nas faces superior e inferior.

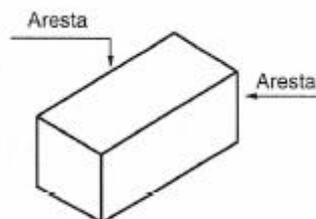


Figura 2 – Aspecto das arestas da peça de concreto

2.4.2.4 Resistência característica à compressão

A resistência característica à compressão deve ser determinada conforme o Anexo A e deve atender às especificações da Tabela 2.

Tabela 2 – Resistência característica à compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Os lotes de peças de concreto entregues ao cliente com idade inferior a 28 dias devem apresentar no mínimo 80% do f_{pk} especificado na Tabela 2, no momento de sua instalação, sendo que aos 28 dias ou mais de idade de cura, o f_{pk} deve ser igual ou superior ao especificado na Tabela 2.

2.4.2.5 Absorção de água

A amostra de peças de concreto deve apresentar absorção de água com valor médio menor ou igual a 6 %, não sendo admitido nenhum valor individual maior do que 7 %, a partir de ensaios realizados conforme o Anexo B.

2.4.2.6 Resistência à abrasão

A determinação da resistência à abrasão da amostra é facultativa. Quando especificada, deve ser ensaiada conforme o Anexo C, devendo atender às especificações da Tabela 4.

Tabela 3 – Critérios para resistência à abrasão

Solicitação	Cavidade máxima mm
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≤ 23
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≤ 20

Tabela 4 – Amostragem para ensaio

Propriedade	Amostra
Inspeção visual	6 ^a
Avaliação dimensional	6 ^a
Absorção de água	3
Resistência à compressão	6
Resistência à abrasão	3 ^b

^a As peças amostradas podem ser utilizadas também para os ensaios de resistência à compressão ou abrasão.

^b Ensaio facultativo.

NOTA Para os ensaios de inspeção visual, avaliação dimensional e resistência à compressão, a amostra deve ter no mínimo seis peças para cada lote de fabricação até 300 m² e uma peça adicional para cada 50 m² suplementar, até perfazer a amostra máxima de 32 peças.

2.5 Pavimento intertravado com peças de concreto – Execução

2.5.1 Definições

2.5.1.1 Pavimento -

- estrutura construída após a terraplanagem e destinada a:
- resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos dos veículos;
- melhorar as condições de rolamento quanto a comodidade e segurança;
- resistir aos esforços horizontais que atuam nesta estrutura, tomando mais durável a superfície de rolamento.

2.5.1.2 Base – camada destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos dos veículos e sobre a qual constrói um revestimento;

2.5.1.3 Sub-base – camada corretiva do subleito, ou complementar à base, quando por qualquer circunstância não seja aconselhável construir o pavimento diretamente sobre o leito obtido pela terraplanagem.

2.5.1.4 Subleito – terreno de fundação do pavimento

2.5.1.5 Leito – superfície obtida pela terraplanagem, estrutura ou obra de arte e conformada ao seu greide e perfis transversais

2.5.1.6 Estrutura – combinação das camadas de sub-base, base, camada de assentamento e revestimento, dimensionada para suportar o carregamento do tráfego, distribuindo os esforços no leito

2.5.1.7 Índice de suporte California – (ISC ou CBR) – define a capacidade de suporte das camadas de fundação, conforme a ABNT NBR 9895

2.5.1.8 Pavimento flexível – tipo de pavimento no qual a absorção de esforços se dá de forma dividida entre as camadas, com as tensões verticais em camadas inferiores mais concentradas em região próxima da área de aplicação da carga

2.5.1.9 Pavimento intertravado – pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída de peças de concreto sobrepostas por material de rejuntamento e o intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção

2.5.1.10 Intertravamento – capacidade das peças de concreto de resistirem a deslocamentos individuais, sejam eles verticais, horizontais, de rotação ou giração, em relação às peças adjacentes

2.5.1.11 Intertravamento vertical – capacidade do pavimento intertravado de resistir a esforços de cisalhamento entre as peças

2.5.1.12 Intertravamento horizontal – capacidade do pavimento intertravado de resistir a esforços causados por forças de aceleração e freagem das cargas

2.5.1.13 Intertravamento rotacional – capacidade do pavimento intertravado de resistir a esforços perpendiculares excêntricos aos eixos das peças

2.5.1.14 Intertravamento giracional – capacidade do pavimento intertravado de resistir a esforços pontuais no eixo das peças

2.5.1.15 Peça de concreto – componente pré-moldado de concreto, utilizando como material de revestimento em pavimento intertravado

2.5.1.16 Revestimento – camada composta por peças de concreto e material de rejuntamento e que recebe diretamente a ação de rolamentos dos veículos, tráfego de pedestres ou suporte de cargas

2.5.1.17 Camada de assentamento – camada composta de material granular, com distribuição granulométrica definida, que tem como função acomodar as peças de concreto proporcionando de forma correta a distribuição de carga e o nivelamento do pavimento

2.5.1.18 Contenção – estrutura ou dispositivo permanente ou provisório utilizado para manter as peças de concreto e o material de rejuntamento na posição apropriada, proporcionando o intertravamento

2.5.1.19 Viga de contenção – elemento estrutural permanente, utilizado para manter as peças de concreto e o material de rejuntamento na posição apropriada, mantendo o intertravamento. A viga de contenção é utilizada em condições específicas do projeto

2.5.1.20 Material de rejuntamento – material granular, com distribuição granulométrica definida, utilizado no preenchimento das juntas, tendo como função a

transferência de esforços de cisalhamento para as peças adjacentes àquela que recebe o carregamento

2.5.1.21 Junta – espaço entre duas ou mais peças de concreto ou entre peças de concreto e a contenção que deve ser preenchido com material de rejuntamento

2.5.1.22 Espaçador de junta – dispositivo para facilitar a uniformidade de espessura das juntas, o qual pode estar incorporada à peça de concreto no momento de sua fabricação

2.5.2 Requisitos Específicos

2.5.2.1 Subleito – o subleito pode ser constituído de solo natural do local ou proveniente de empréstimo, devendo cumprir as especificações da ABNT NBR 12307 e os seguintes requisitos mínimos:

- o material do subleito deve apresentar índice de suporte California (ISC ou CBR) maior que 2% e expansão volumétrica menor ou igual a 2%, conforme ensaio especificado na ABNT NBR 9895.

- caso seja necessário o reforço do subleito, sua execução deve atender às especificações da ABNT NBR 12752.

- toda a camada de subleito deve estar bem drenada, mantendo o lençol freático rebaixado no mínimo 1,5m da cota final da superfície do pavimento acabado.

- a camada final do subleito deve apresentar a cota definida no projeto e ter os mesmos caimentos da camada de revestimento do pavimento pronto, sendo recomendado o caimento mínimo de 2%, salvo condição específica de projeto.

2.5.2.2 Sub-base e base – A camada de sub-base ou de base pode ser constituída de materiais pétreos (agregados industriais, agregados reciclados, cascalho) ou mistura estabilizadas, com cimento devendo cumprir, conforme o caso, as especificações das normas ABNT NBR 11803, ABNT NBR 11804, ABNT NBR 11806, ABNT NBR 11798, ABNT NBR 15115;

2.5.2.3 Contenção –

2.5.2.3.1 Contenção permanente - O pavimento intertravado deve obrigatoriamente ter contenções que garantam a estabilidade do sistema e que apresentem as seguintes condições:

- serem constituídas de estrutura rígida ou de dispositivos fixados na base do pavimento, de modo a impedir o seu deslocamento;
- serem executadas obedecendo cotas de níveis e alinhamentos definidos no projeto;
- serem executadas antes da camada de revestimento;

2.5.2.3.2 Contenção provisória – Generalidades – Durante a execução do pavimento intertravado podem ser necessárias contenções provisórias, as quais devem cumprir no mínimo as seguintes condições:

- serem constituídas de estrutura rígida (concreto simples, concreto armado, solo reforçado com cimento, brita graduada tratada com cimento – BGTC) com seção determinada em projeto e altura suficiente para penetrar até a camada de subleito, de modo a impedir o seu deslocamento;
- serem utilizadas em todo encontro do pavimento intertravado com outro tipo de pavimentação ou com via sem pavimentação;
- serem executadas com fundação de acordo com as condições de tráfego e especificações de projeto;

As vigas de contenção devem ser utilizadas em trechos com inclinação igual ou superior a 8%. O espaçamento entre as vigas é determinado em função do tipo de tráfego, utilizando a inclinação, devendo este detalhamento constar do projeto.

2.5.2.4 Camada de assentamento – A camada de assentamento deve ser constituída de materiais pétreos granulares e deve cumprir as seguintes especificações:

- a umidade do material de assentamento deve estar entre 3% e 7% no momento da aplicação;
- o material de assentamento deve cumprir as especificações da ABNT NBR 7211 quanto a presença de torrões de argila, materiais friáveis e impurezas orgânicas;
- a camada de assentamento deve ser uniforme e constante com espessura

de 5 cm, com variação máxima de ± 2 cm, na condição não compactada ou conforme especificação de projeto;

- a dimensão máxima característica do material de assentamento deve ser menor que 5 vezes a espessura da camada de assentamento já compactada.

Recomenda-se a distribuição granulométrica da tabela 5 para o material de assentamento

Tabela 5 – Distribuição granulométrica recomendada para o material de assentamento

Abertura de Peneira ABNT NBR NM ISSO 3310-1	Porcentagem Retida em Massa %
6,3 mm	0 a 7
4,75 mm	0 a 10
2,36 mm	0 a 25
1,18 mm	5 a 50
600 μ m	15 a 70
300 μ m	50 a 95
150 μ m	85 a 100
75 μ m	90 a 100

2.5.2.5 Material de rejuntamento e juntas - O rejuntamento deve ser executado com materiais pétreos granulares e deve cumprir as seguintes especificações:

- o material de rejuntamento deve cumprir as especificações da ABNT NBR 7211 quanto à presença de torrões de argila, materiais friáveis e impurezas orgânicas;

- ser aplicado em juntas com espessura de 2mm a 5mm entre as peças de concreto. Casos específicos, como, por exemplo, trechos em curva, devem ser definidos em projeto.

Recomenda-se que o material de rejuntamento esteja seco no momento da aplicação, para facilitar o preenchimento de juntas, e que sua distribuição

granulométrica atenda ao descrito na tabela 6.

Tabela 6 – Distribuição Granulométrica

Abertura de Peneira ABNT NBR NM ISSO 3310-1	Porcentagem Retida em Massa %
4,75 mm	0
2,36 mm	0 a 25
1,18 mm	5 a 50
600 um	15 a 70
300 um	50 a 95
150 um	85 a 100
75 um	90 a 100

2.5.3 Execução da Camada de Revestimento

2.5.3.1 Serviços preliminares ao assentamento

2.5.3.1.1 Planejamento e preparação - Inicialmente deve ser feito um reconhecimento do local, com definição da área a ser pavimentada, das bordas e dos limites do pavimento, bem como dos acessos e locais para estocagem de materiais e equipamentos.

A preparação da área a ser pavimentada deve prever:

- verificação do atendimento aos requisitos estabelecidos para o recebimento do subleito, da base (ou sub-base e base)

- limpeza do local, com a retirada de materiais inadequados;
- isolamento e sinalização da área;

2.5.3.1.2 Verificação de ferramentas e equipamentos – verificar se todos os equipamentos e ferramentas estão disponíveis e em condições de serem utilizados, considerando no mínimo:

- trenas

- nível de mangueira
- colher de pedreiro
- estacas de madeira
- lápis
- PA
- enxada
- placa vibratória
- guias de madeira ou tubos metálicos (opcional)
- régua metálica
- esquadro metálico
- desenpenadeira
- fio de náilon
- carrinho para transporte de peças de concreto
- carrinho para transporte de areia
- marreta de borracha
- vassoura
- rodos de madeira
- serra de disco ou guilhotina

2.5.3.1.3 Transporte e recebimento das peças de concreto para pavimentação – O transporte até a obra deve ser realizado com peças paletizadas ou cubadas e cintadas.

O recebimento das peças de concreto na obra deve ser considerada que:

- as informações da nota fiscal estejam em concordância com o pedido;
- a avaliação visual e dimensional atenda as especificações da ABNT NBR 9781, antes da liberação da descarga;
- o descarregamento das peças seja manual ou mecanizado;
- o empilhamento manual seja de no máximo 1,5m de altura em arranjo que garanta a estabilidade da pilha.

2.5.3.1.4 Movimentação das pessoas no canteiro de obras - O transporte interno deve ser realizado de modo adequado, sem causar danos às peças.

As peças devem ser posicionadas de modo organizado, próximas às frentes de trabalho.

2.5.3.1.5 Verificação e aceitação da camada de base do pavimento -

Antes de iniciar a execução da camada de assentamento, deve-se conferir se a camada de base (ou sub-base e base) atenda aos requisitos e as condições a seguir:

- o material deve estar bem compactado, inclusive ao redor das interferências (poços de visita, caixas, etc);
- o caimento para escoamento da água deve estar de acordo com o projeto;
- a superfície deve estar na cota prevista no projeto;

2.5.3.1.6 Verificação e aceitação das contenções – Antes de iniciar a execução da camada de assentamento, deve-se conferir se as contenções atendem aos requisitos.

No caso de construção de pavimentos por faixas de tráfego, recomenda-se construir contenções longitudinais utilizando vigas de contenção permanentes ou provisórias, conforme especificação em projeto.

2.5.4 Execução da Camada de Assentamento – A camada de assentamento deve atender aos requisitos e ser executada conforme as recomendações a seguir:

- espalhar o material de assentamento na frente de serviço na quantidade suficiente para cumprir jornada de trabalho;
- executar as mestras paralelamente à contenção principal, nivelando-as na espessura da camada de assentamento na condição não compactada, respeitando o caimento estabelecido;
- nivelar o material de assentamento manualmente por meio de régua metálica, correndo a régua sobre as mestras ou de modo mecanizado, resultando em uma superfície sem irregularidades.

Uma vez espalhado, o material de assentamento não pode ser deixado no local aguardando a colocação das peças, devendo-se lançar apenas a quantidade suficiente para cumprir a jornada de trabalho prevista no dia, evitando-se deformações na camada.

No caso de danos de qualquer natureza na camada de assentamento, a área

danificada deve ser refeita, podendo-se reaproveitar o material de assentamento, desde que atenda ao estabelecido.

2.5.4.1 Marcação para o assentamento

A marcação para o assentamento deve ser executada conforme a seguir;

- marcar o esquadro da primeira fiada utilizando meios adequados às características da obra;
- posicionar as linhas-guia ao longo da frente de serviço, indicando o alinhamento das peças tanto na direção transversal, quanto na longitudinal da área de assentamento, de acordo com o padrão de assentamento.

2.5.4.2 Assentamento das peças – O assentamento das peças de concreto deve ser executado conforme a seguir:

- assentar a primeira fiada de acordo com o padrão de assentamento estabelecido no projeto, respeitando o esquadro e o alinhamento previamente marcados;
- o assentamento das peças pode ser manual ou mecanizado e deve ser executado sem modificar a espessura e uniformidade da camada de assentamento;
- as peças não podem ser arrastadas sobre a camada de assentamento até a sua posição final;
- manter as linhas-guia à frente da área de assentamento das peças, verificando regularmente o alinhamento longitudinal e transversal;
- efetuar os ajustes de alinhamento das peças, mantendo as espessuras das juntas uniformes conforme especificado;

2.5.4.2 Ajustes e arremates – Após o assentamento das peças inteiras em cada trecho da frente de serviço, devem ser feitos os ajustes e arremates na camada de revestimento, utilizando-se peças cortadas, preferencialmente com serra de disco diamantada.

2.5.4.3 Rejuntamento - O material de rejuntamento deve atender aos requisitos e o rejuntamento deve ser executado conforme estabelecido a seguir:

- espalhar o material de rejuntamento seco sobre a camada de revestimento, formando uma camada fina e uniforme em toda a área executada;

- executar o preenchimento das juntas por processo de varrição do material de rejuntamento, até que as juntas sejam totalmente preenchidas;

2.5.4.4 Compactação - A compactação deve ser executada por placas vibratórias, que proporcionem a acomodação das peças na camada de assentamento, mantendo-se a regularidade da camada de revestimento sem danificar as peças de concreto e cumprindo o disposto a seguir:

- a compactação deve ser realizada com sobreposição entre 15 cm e 20 cm em cada passada sobre a anterior;

- alternar a execução da compactação com o espalhamento do material de rejuntamento, até que as juntas tenham sido totalmente preenchidas;

- a compactação deve ser executada até aproximadamente 1,5 m de qualquer frente de trabalho do assentamento, que não contenha algum tipo de contenção.

2.5.5 Inspeção Final

Inspeccionar toda a área compactada, substituindo as peças eventualmente danificadas.

Verificar se as juntas estão devidamente preenchidas com o material de rejuntamento, e caso necessário, repetir a operação de rejuntamento.

A superfície do pavimento não pode apresentar em ponto algum denível maior que 10 mm, medido com régua metálica de 3 m de comprimento.

O topo das peças de concreto deve estar entre 3 mm e 6 mm acima do nível das caixas de vista, tampas de bueiros e outras interferências na superfície do pavimento, a fim de compensar a acomodação do pavimento.

2.5.6 Liberação ao Tráfego

A liberação ao tráfego apenas deve ser permitida após a aprovação dos requisitos da inspeção final.

Nenhum trecho do pavimento pode ser liberado ao tráfego sem a execução de contenções que garantam o intertravamento do pavimento, podendo-se utilizar contenções provisórias no caso de liberações parciais de trechos do pavimento.

2.5.7 Manutenção e Limpeza

2.5.7.1 Execução de instalação subterrâneas pelo método destrutivo em pavimento intertravado pronto – Para a execução de instalação subterrâneas devem ser atendidas as condições a seguir:

- identificar a área do pavimento a ser removida, considerando a retirada de pelo menos duas fiadas de peças de cada lado, além da área a ser escavada;
- isolar e sinalizar a área a ser trabalhada;
- remover a primeira peça de concreto, retirando primeiro o material de rejuntamento com a ajuda de uma espátula e, em seguida, a peça com um extrator ou outra ferramenta adequada.
- remover as demais peladas de concreto e empilhá-las, se possível, próximo ao local da remoção;
- remover as camadas de assentamento, de base, sub-base e subleito. Armazenar os materiais separadamente em local próximo ao de remoção, evitando a contaminação entre os materiais para possibilitar sua reutilização;
- refazer as camadas da estrutura, conforme as condições originais do pavimento, atendendo às especificações desta Norma;
- reassentar as peças removidas sobre a camada de assentamento, que deve ser refeita conforme estabelecido. Peças de concreto danificadas devem ser substituídas por novas;
- realizar os ajustes e arremates necessários;
- refazer o rejuntamento e a compactação;
- no caso de danos à contenção, elas devem ser refeitas;
- realizar a inspeção final e liberar ao tráfego;

2.5.7.2 Reparos de afundamento localizados – No caso de reparos em pavimento intertravado, devido a afundamentos localizados, proceder conforme mencionado no item anterior, acrescentado a verificação da necessidade de substituição da camada de subleito na área deformada, por material de índice de suporte California (ISC ou CBR), maior que o material existente, além de verificar as condições de drenagem do trecho afetado.

2.5.7.3 Limpeza – A remoção de sujeiras e detritos em geral da superfície do

pavimento deve ser feita com água morna e sabão neutro. Deve-se tomar cuidado para que a pressão da água não remova o material de rejuntamento, o qual deve ser repostado caso necessário.

Manchas e outros materiais aderentes de remoção mais difícil podem ser removidos com a utilização de produtos específicos que não agridam a integridade e coloração das pedras de concreto, devendo ser seguidas as recomendações do fabricante do produto.

2.6 Métodos de Dimensionamento

2.6.1 PCA - Portland Cement Association

Sendo mais indicado para o dimensionamento de vias de tráfego médio a meio pesado com "N" típico entre 10^5 e $1,5 \times 10^6$ solicitações, em função da utilização de bases granulares que geram estruturas mais seguras, adotando o princípio de que as camadas do pavimento a partir do subleito sejam colocadas em ordem crescente de resistência, de modo que as deformações por cisalhamento e por consolidação dos materiais reduzam a um mínimo as deformações verticais permanentes.

O procedimento aqui descrito tem base em pesquisas desenvolvidas na Austrália, África do Sul, Grã-Bretanha e nos Estados Unidos, bem como em observações laboratoriais e de pistas experimentais, nas quais o desempenho de pavimentos em serviço foi acompanhado. Seu desenvolvimento foi efetuado pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE).

É uma evolução do método USACE, de pavimentos flexíveis, levando em conta o intertravamento dos blocos, pressupondo uma 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 deformações verticais permanentes (trilhas de roda). Admite-se a adoção de bases tratadas com cimento, com fator de equivalência estrutural igual a 1,65.

Em função da classificação da via em estudo e de seu respectivo número de

solicitações do eixo simples padrão "N", bem como do valor do índice de Suporte Califórnia (CBR) do subleito, é determinada, através da Figura 5, a espessura de material puramente granular (H_{BG}) correspondente à camada de base assentada sobre o subleito.

O valor de H_{BG} assim determinado pode ser subdividido em dois, adotando-se uma camada de sub-base puramente granular e uma camada de base cimentada, que terá uma espessura determinada em função do coeficiente de equivalência estrutural aqui adotado ($K_B = 1,65$). Recomenda-se que, para as vias de tráfego pesado, seja adotada a execução de bases com materiais mais nobres, que permitirá uma redução das espessuras finais do pavimento, o que será possível com a introdução de bases tratadas com cimento. Recomenda-se, também, que as espessuras mínimas para camadas de base sejam de:

- 15 cm para materiais puramente granulares;
- 10 cm para materiais tratados com cimento.

Os blocos pré-moldados do revestimento devem atender, neste método, a espessura mínima de 8 cm, chegando a 10 cm para as condições mais severas de carregamento, o que deve ser julgado pelo projetista em cada situação.

Exemplo de Aplicação - O dimensionamento a seguir será proposto para uma via pública com as seguintes características:

- Via de tráfego meio pesado com $N_{TÍPICO} = 10^6$ solicitações
- Índice de Suporte Califórnia do subleito: $CBR_{SL} = 5,0\%$

São estudadas duas alternativas: a primeira adota base puramente granular e a segunda adota base cimentada e sub-base granular.

• Determinação da espessura de base puramente granular Com os valores de $N_{TÍPICO} = 10^6$ e $CBR_{SL} = 5\%$, tem-se da Figura 5:

$$H_{BG} = 29 \text{ cm}$$

- 1ª alternativa: Base granular com 29 cm
- 2ª alternativa: Adotando 15 cm de sub-base granular (H_{SBG}) e base em concreto compactado com rolo (H_{CCR}) com $K_B = 1,65$.

$$H_{CCR} = \frac{H_{BG} - H_{CCR}}{K_{CCR}} = \frac{29 - 15}{1,65} = 8,48cm$$

onde:

HBG = espessura da base granular

HCCR = espessura da base de concreto compactado com rolo

KCCR = fator de equivalência estrutural da base cimentada

Adotado HCCR = 10 cm

- Areia de assentamento com espessura compactada de 5 cm;
- Camada de rolamento com blocos pré-moldados de 8 cm;
- Seções Típicas

1ª alternativa

BLOCOS	8,0 CM
AREIA	5,0 CM
BASE GRANULAR	29,0 CM
SUBLEITO CBR = 5%	15,0 CM

2ª alternativa

BLOCOS	8,0 CM
AREIA	5,0 CM
BASE CCR	10,0 CM
SUB-BASE GRANULAR	15,0 CM
SUBLEITO CBR = 5%	15,0 CM

Figura 3. Espessura necessária de sub-base (reproduzido do boletim técnico nº. 27 da ABCP)

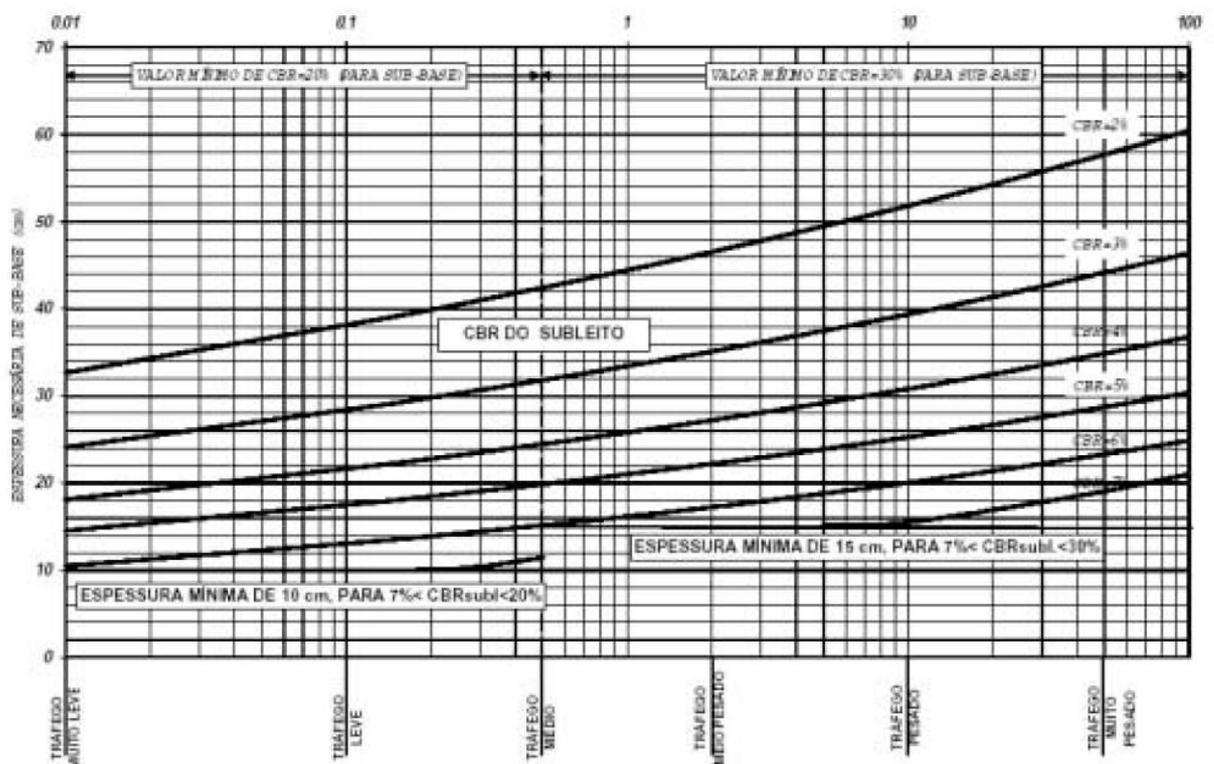


Figura 4. Espessura da Base Cimentada em Função do Número “N”

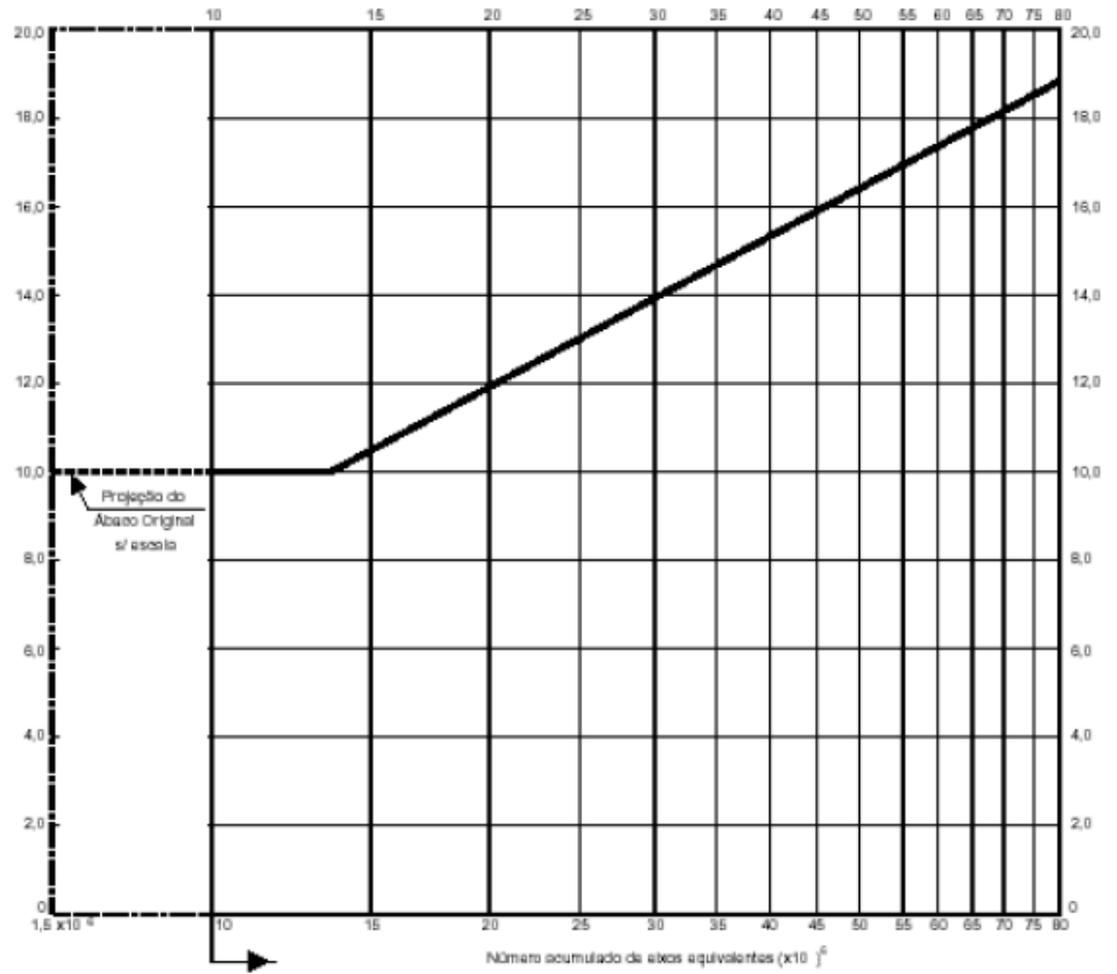


Figura 5. Espessura necessária de base puramente granular (HBG)

N.º de Solicitações equivalente do eixo padrão de 8,2 t (kN)	ESPESSURA DA BASE (H_{95})											
	Valor do índice de Suporte Califórnia do Subleito											
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20	
(10^1)	27	21	17									
2×10^3	29	24	20	17								
4×10^3	33	27	23	19	17							
8×10^3	36	30	25	22	19							
(10^4)	37	31	26	23	20							
2×10^4	41	34	29	25	22	17						
4×10^4	44	37	32	28	24	19						
8×10^4	48	40	35	30	27	21	17					
(10^5)	49	41	36	31	28	22	18					
2×10^5	52	44	38	34	30	24	19					
4×10^5	56	47	41	36	32	26	21					
8×10^5	59	51	44	39	34	28	23					
(10^6)	60	52	45	40	35	29	23	16				
2×10^6	64	55	47	42	38	30	25	17				
4×10^6	68	58	50	45	40	33	27	19				
8×10^6	71	61	53	47	42	34	29	20				
(10^7)	72	62	54	48	43	35	30	21				

Min. 15

2.6.2 ICPI – Interlocking Concrete Paving Institute

Fornece diretrizes de construção para profissionais de projeto e instaladores de pavimentos de concreto intertravado. Vários recursos estão disponíveis neste site que reve as medidas necessárias para a construção de pavimentos de concreto intertravado.

Esta estrutura de pavimento é comumente usada tanto para pedestres quanto para aplicações veiculares. Áreas de pedestres, calçadas e áreas sujeitas a uso veicular limitado são pavimentadas com unidades de 2 3/8 polegadas. (60 mm) de espessura. Ruas e pavimentos industriais devem ser pavimentadas com unidades de pelo menos 3 1/8 polegadas. (80 mm) de espessura.

Compactação da sub-nível do solo e materiais de base agregado são essenciais para o desempenho a longo prazo dos pavimentos concreto intertravados.

As etapas de instalação tipicamente incluem o planejamento de trabalho, layout, escavação e compactação do subleito do solo, aplicando geotêxteis (opcional), espalhamento e compactação da sub-base e / ou agregados de base, a construção das juntas, contenção, colocação e assentamento da areia de rejuntamento, posicionar os blocos de concreto , compactação dos blocos de concreto, varrição da areia de rejuntamento e compactação final.

2.6.2.1 Noções básicas de instalação

Nota: compactação do subleito do solo é recomendada para pelo menos 98% de densidade Proctor pela norma ASTM D 698 para áreas de pedestres e calçadas residenciais. Compactação de pelo menos 98% densidade Proctor modificado por ASTM D 1557 , e é recomendado para áreas sujeitas a tráfego de veículos pesados. Estabilização do material de sub-nível e / ou base podem ser necessárias com solo de subleito fraco ou saturado.

Nota: materiais locais de base agregados que são tipicamente utilizados em pavimentos flexíveis de rodovias são recomendados, ou aqueles em conformidade com ASTM D 2940. A compactação de agregado não é recomendado para uma

densidade Proctor inferior a 98% de acordo com ASTM D 698, é recomendado para áreas para pedestres e calçadas residenciais. 98% de densidade de Proctor modificado de acordo com a norma ASTM D 1557 é recomendado para áreas veiculares. Calçadeiras mecânicas são recomendadas para compactação do subleito do solo e base de agregado em zonas não acessíveis à grandes equipamentos de compactação. Essas áreas podem incluir em torno de bases de postes de iluminação, estruturas de serviços públicos, quinas de construção, meio-fio, canteiros de árvores e outras saliências.

Nota: Antes de espalhar a areia de rejuntamento, a tolerância da superfície da base recomendada deve ser $\pm 3/8$ polegadas (± 10 mm) mais 10 pés (3 m) de borda em linha reta...

Nota: A tolerância a elevações e superfície da base determina as elevações da superfície finais de pavimentos de concreto. O empreiteiro de instalação do pavimento não pode corrigir deficiências na superfície de base com areia de rejuntamento adicional ou por outros meios. Portanto, as elevações da superfície da base devem ser verificadas e aceitas pelo empreiteiro geral ou pessoa designada, com certificação por escrito ao subcontratado para pavimentação, antes de colocar areia de rejuntamento e pavimentação de concreto.”

Anexo A

Determinação da resistência característica à compressão

A.1 Equipamentos

A.1.1 Máquina de ensaio de compressão

A máquina de ensaio deve atender os valores máximos admissíveis determinados pela ABNT NBR NM ISO 7500-1.

Para laboratórios de ensaio, a máquina de ensaio deve ser classe 1 ou melhor. Para laboratórios instalados em fábricas admite-se a utilização de máquina de ensaio classe 2.

A estrutura de aplicação de força deve ter capacidade compatível com os ensaios a serem realizados, permitindo a aplicação controlada da força sobre a peça colocada entre os pratos de compressão. O prato que se desloca deve ter movimento na direção vertical, coaxial (perpendicular) ao prato fixo.

O corpo de prova deve ser posicionado de modo que, quando estiver centrado, seu eixo coincida com o da máquina, fazendo com que a resultante das forças passe pelo centro.

O acionamento deve ser através de qualquer fonte estável de energia, de modo a propiciar uma aplicação de força contínua e isenta de choques. Somente para máquinas de classe 2 se aceita acionamento manual.

NOTA Recomenda-se que os equipamentos novos sejam providos de controle de aplicação de força, de modo que a taxa de carregamento seja aplicada sem a interferência do operador.

A.1.2 Placas auxiliares de ensaio

As duas placas auxiliares de ensaio devem ser circulares, com diâmetro de $(85 \pm 0,5)$ mm e espessura mínima de 20 mm, confeccionadas em aço, com dureza superficial maior que 60 RC. Suas superfícies não podem apresentar afastamento com relação a uma superfície plana de contato, tomada como referência, de mais de 0,01 mm em 85 mm.

As placas auxiliares devem ser acopladas à máquina de ensaio de compressão, uma no prato inferior e a outra no superior, de maneira que seus eixos verticais centrais fiquem perfeitamente alinhados.

A.2 Determinação das dimensões das peças

O fabricante deve informar as medidas nominais da largura, comprimento e espessura das peças, antes da realização dos ensaios.

As medidas reais da largura (do comprimento (c) e da espessura (e) das peças, devem ser tomadas conforme referências do Anexo D, utilizando-se um paquímetro com resolução de 0,1 mm.

A.3 Determinação da resistência característica à compressão (f_{pk})

As peças representativas do lote amostrado devem estar nas seguintes condições, no momento do ensaio:

- a) saturadas em água a (23 ± 5) °C, por no mínimo 24 h antes do ensaio;
- b) as superfícies de carregamento devem ser retificadas.

NOTA São permitidos outros tipos de capeamento desde que estes não apresentem variações significativas em comparação à técnica de retífica.

c) as peças devem ser dispostas sobre as placas auxiliares de ensaio, com sua face superior em contato com a placa auxiliar superior, de modo que o eixo vertical que passa pelo seu centro coincida com o eixo vertical passante pelo centro das placas, na região da peça que apresenta largura mínima de 97 mm.

NOTA Para as peças do tipo IV, ensaiam-se apenas as peças com largura mínima de 97 mm.

O carregamento deve ser feito continuamente, com velocidade de 550 kPa/s, com variação de mais ou menos 200 kPa/s. O carregamento deve prosseguir até a ruptura completa da peça.

Caso a largura da peça seja superior a 140 mm, a peça deve ser cortada com serra de disco, de modo que a nova largura não exceda esse limite.

A.4 Resultados

A resistência à compressão da peça, expressa em megapascals (MPa), é obtida dividindo-se a carga de ruptura, expressa em newtons (N), pela área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm²), multiplicando-se o resultado pelo fator p , função da altura da peça, conforme Tabela A.1.

Tabela A.1 — Fator multiplicativo p

Espessura nominal da peça mm	p
60	0,95
80	1,00
100	1,05

A.5 Determinação da resistência à compressão estimada

Admite-se que as resistências à compressão obedecem à distribuição normal, sendo o valor característico estimado pela equação:

$$f_{pk, est} = \bar{f}_p - t \times s$$

sendo

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_p - f_{pi})^2}{n - 1}}$$

Onde

\bar{f}_p é a resistência média das peças, expressa em megapascals (MPa);

f_{pi} é a resistência individual das peças, expressa em megapascals (MPa);

$f_{pk, est}$ é a resistência característica estimada à compressão, expressa em megapascals (MPa);

n é o número de peças da amostra;

s é o desvio-padrão da amostra, expresso em megapascals (MPa);

t é o coeficiente de Student, fornecido na Tabela 3, em função do tamanho da amostra.

**Tabela A.2 — Coeficiente de Student
(nível de confiança de 80 %)**

n	t
6	0,920
7	0,906
8	0,896
9	0,889
10	0,883
12	0,876
14	0,870
16	0,866
18	0,863
20	0,861
22	0,859
24	0,858
26	0,856
28	0,855
30	0,854
32	0,842

A.6 Apresentação dos resultados

No relatório de ensaio deve constar o seguinte:

- a) identificação do lote;
- b) idade do lote no início do ensaio;
- c) medidas nominais de comprimento (c); largura (l) e espessura (e) das peças, informadas pelo fabricante;
- d) medidas reais de comprimento (c); largura (l) e espessura (e) das peças, com aproximação de 0,1 mm;
- e) índice de forma (IF) das peças;
- f) tipo de peça
- g) área de carregamento, expressa em milímetros quadrados (mm²):

- h) cargas de ruptura individuais, expressas em newtons (N);
- i) resistências individuais, expressas em megapascals (MPa);
- j) resistência característica estimada à compressão ($f_{pk,est}$), expressa em megapascals (MPa).

Anexo B

Determinação da absorção de água

B.1 Princípio

A absorção de água, expressa em porcentagem, representa o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido a penetração de água em seus poros permeáveis, em relação à sua massa em estado seco.

B.2 Corpo de prova

Peça de concreto inteirá.

B.3 Materiais

Água potável.

B.4 Equipamentos

Os equipamentos necessários para a execução do ensaio são os seguintes:

- a) estufa ventilada com temperatura de $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- b) termômetro com resolução de 1°C ;

- c) tanque de água;
- d) balança com resolução de 0,1 g;
- e) escova com cerdas suaves;
- f) tela metálica com suporte;
- g) pano.

B.5 Preparação do corpo de prova

Remover todo o pó e partículas soltas dos corpos de prova, utilizando-se uma escova.

B.6 Procedimento

B.6.1 Saturação

Imergir os corpos de prova em água à temperatura de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, por 24 h.

Pesar individualmente cada corpo de prova na condição saturada com superfície seca, que é obtida drenando o corpo de prova sobre uma tela metálica por 1 min e removendo a água superficial visível com um pano úmido. Anotar o valor encontrado.

Repetir este procedimento a cada 2 h, até que em duas determinações sucessivas não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, anotando-se então a sua massa saturada m_2 .

B.6.2 Secagem

Levar os corpos de prova saturados à estufa com temperatura a $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$, mantendo esta condição por 24 h.

Pesar individualmente cada corpo de prova na condição seco em estufa. Anotar o valor encontrado.

Repetir este procedimento a cada 2 h, até que em duas determinações sucessivas não se registre para o corpo de prova diferença de massa superior a 0,5 % em relação ao valor anterior, anotando-se então a sua massa seca m_1 .

A operação de pesagem e anotação do valor deve ser de no máximo 10 min, com o corpo de prova fora da temperatura da estufa.

B.7 Absorção de água

O valor da absorção de água de cada corpo de prova deve ser calculado utilizando-se a equação:

$$A = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$$

Onde

A é a absorção de cada corpo de prova, expressa em porcentagem (%);

m_1 é a massa do corpo de prova seco, expressa em gramas (g);

m_2 é a massa do corpo de prova saturado, expressa em gramas (g).

B.8 Resultados

No relatório de ensaio deve constar o seguinte:

- a) identificação do lote;
- b) idade do lote no início do ensaio;

c) valores individuais de absorção de água, expressos em porcentagem (%);

d) valor médio da absorção de água, expresso em porcentagem (%).

Anexo C

Determinação de resistência à abrasão

C.1 Aparelhagem

A aparelhagem necessária à execução do ensaio é a descrita em C.1.1 a C.1.3.

C.1.1 Dispositivo de abrasão

O dispositivo de abrasão consiste em disco rotativo de aço com diâmetro de 200 mm e espessura de 70 mm, um funil de escoamento para alimentação de material abrasivo, um suporte para o corpo de prova, um contrapeso e uma caixa de armazenamento de material abrasivo usado, conforme indicado na Figura C.1.

C.1.2 Instrumento de medição

Deve ser utilizado paquímetro com resolução de 0,1 mm.

C.1.3 Material abrasivo

O material abrasivo deve ser composto de óxido de alumínio fundido branco grana F80. O material abrasivo não pode ser reaproveitado após o ensaio.

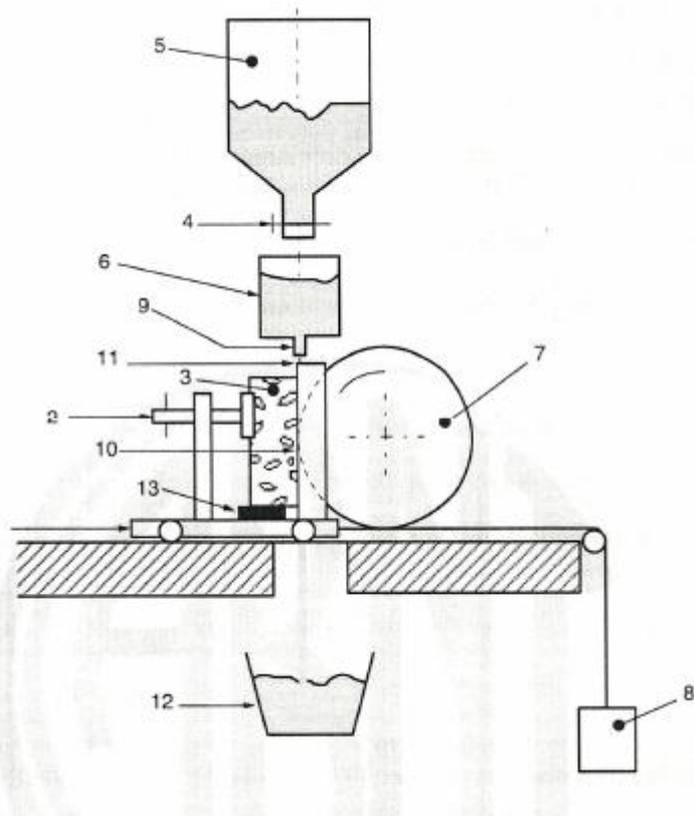


Figura C.1 - Dispositivo para ensaio de resistência à abrasão

Legenda

- 1 Dispositivo móvel para empurrar a amostra
- 2 Dispositivo para fixação
- 3 Amostra
- 4 Válvula de controle
- 5 Reservatório de material abrasivo
- 6 Guia para fluxo de material abrasivo
- 7 Cilindro metálico para abrasão
- 8 Contrapeso
- 9 Saída do material abrasivo

10 Moldura

11 Fluxo de material abrasivo

12 Reservatório para coleta do material

13 Apoio para centralizar a amostra

C.2 Calibração e padrão

A pressão do corpo de prova contra o disco de aço é determinada pela calibração do equipamento contra um padrão de calibração (vidro float ou comum).

A pressão é ajustada variando-se o contrapeso, de maneira que, após 75 rotações em (60 ± 3) s, seja produzida uma cavidade de $(17,0 \pm 0,5)$ mm de comprimento.

O padrão de calibração deve ter dimensões mínimas de 100 mm x 100 mm x 6 mm.

O equipamento deve ser calibrado após 400 ensaios ou a cada 2 meses, ou sempre que o disco rotativo for substituído.

C.3 Preparação dos corpos de prova

Utilizar três peças de concreto para cada lote, com dimensões mínimas de 100 mm x 90 mm.

Lavar os corpos de prova em água corrente e enxugar com um pano úmido, antes do ensaio.

C.4 Procedimento

Posicionar o corpo de prova no equipamento, centralizando-o em relação ao centro do disco rotativo.

Abastecer o reservatório de material abrasivo, de modo que o fluxo seja constante com $(100 \pm 0,05)$ g a cada (100 ± 5) rotações do disco.

Abrir a válvula de controle para o material abrasivo e simultaneamente ligar o motor configurado em 75 revoluções em (60 ± 3) s. Observar se o fluxo de material abrasivo está uniforme durante o ensaio, coincidindo com a finalização das 75 revoluções.

Retirar o corpo de prova do equipamento e medir o comprimento da cavidade, conforme a Figura C.2.

Realizar o ensaio em cada corpo de prova em apenas um ponto.

C.5 Dimensão da cavidade

Colocar o corpo de prova embaixo de uma lente de aumento, de preferência equipada com iluminação, para facilitar a medição da cavidade.

Desenhar uma linha (AB) no centro da cavidade perpendicular ao seu eixo.

Utilizar uma régua metálica e um lápis com diâmetro de 0,9 mm e dureza 6H ou 7H para desenhar os limites longitudinais (L 1 e L2) da cavidade de acordo com a Figura C.2.

Posicionar o paquímetro nos pontos A e B até as bordas dos limites longitudinais (L 1 e L2) da cavidade e registrar a medida com precisão de 0,1 mm, conforme Figura C.2.

Para a calibração, repetir a medida nos pontos (C e D), de modo a obter três leituras.

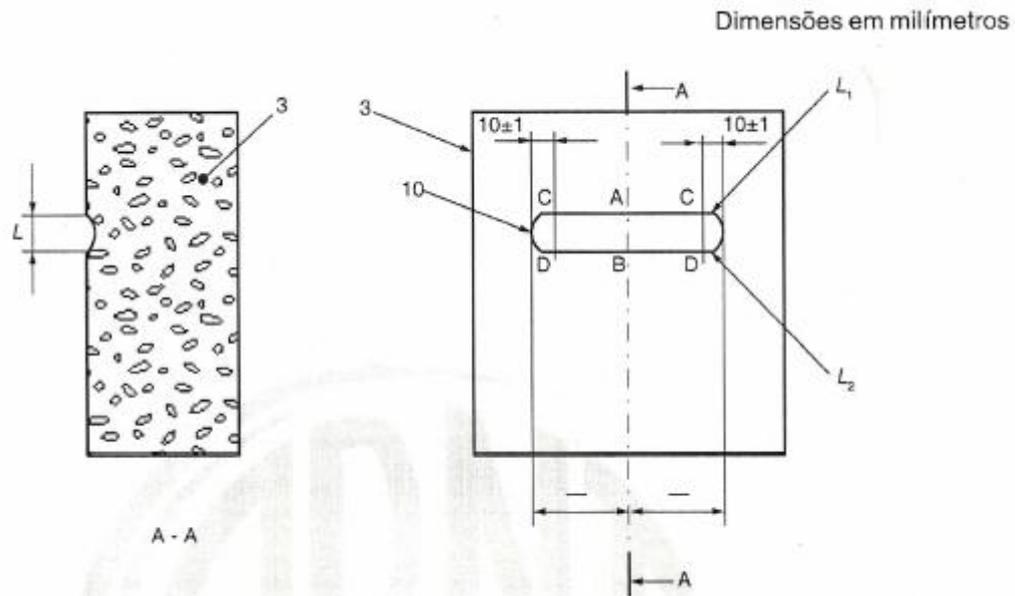


Figura C.2 — Medição da cavidade na amostra ensaiada

C.6 Resultados

O resultado é a dimensão corrigida por um fator de calibração. O fator de calibração é a diferença aritmética entre 17,0 mm e o valor obtido na última calibração do dispositivo. O resultado final deve ser apresentado com resolução de 0,5 mm.

Por exemplo, com um valor de calibração igual a 16,6 mm e dimensão da cavidade no corpo de prova de 19,5 mm, o resultado será $19,5 + (17,0 - 16,6) = 19,9$ mm e o resultado final = 20,0 mm.

C.7 Relatório de ensaio

No relatório de ensaio deve constar o seguinte:

- a) identificação do lote;
- b) idade do lote no início do ensaio;
- c) valores individuais da cavidade, expressos em milímetros (mm);

d) valor médio da cavidade, expresso em milímetros (mm).

Anexo D

Avaliação dimensional

D.1 Introdução

A avaliação dimensional das peças deve ser realizada sempre em planos paralelos ou perpendiculares às arestas das peças, conforme sua tipologia.

Em D.2 estão apresentados esquematicamente exemplos de pontos de medidas de alguns formatos de peças classificados.

D.2 Formatos

D.2.1 Peças do tipo I

Conforme Figura 0.1.

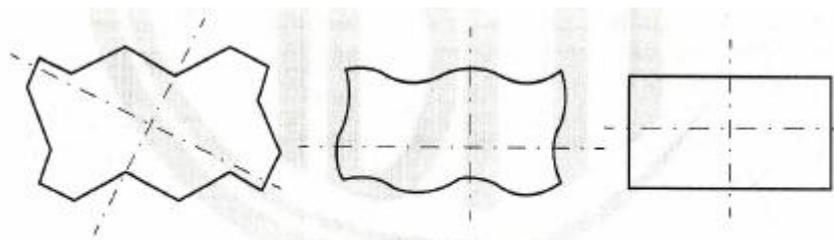


Figura D.1 — Exemplos de peças de concreto do tipo I

D.2.2 Peças do tipo II

Conforme Figura D.2.

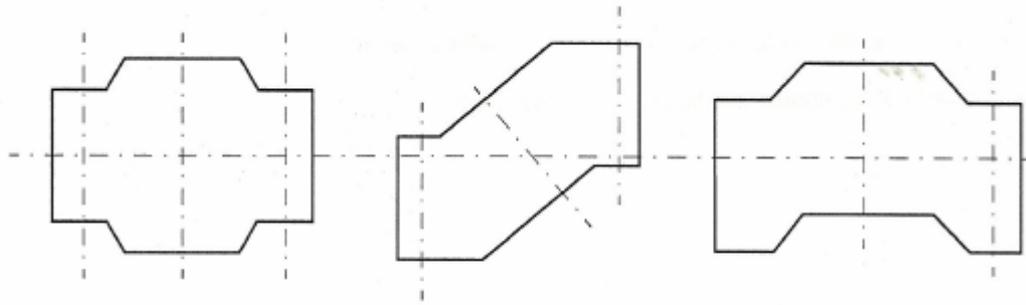


Figura D.2 — Exemplos de peças de concreto do tipo II

D.2.3 Peças do tipo III

Conforme Figura D.3

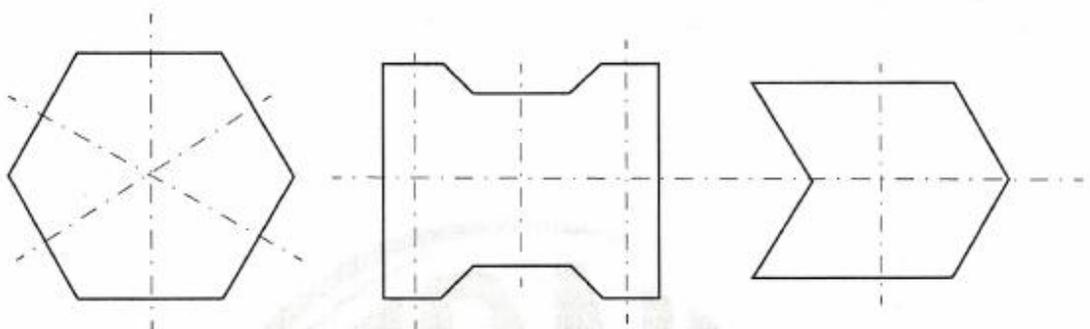


Figura D.3 — Exemplos de peças de concreto do tipo III

D.2.4 Peças do tipo IV

Conforme Figura D.4.

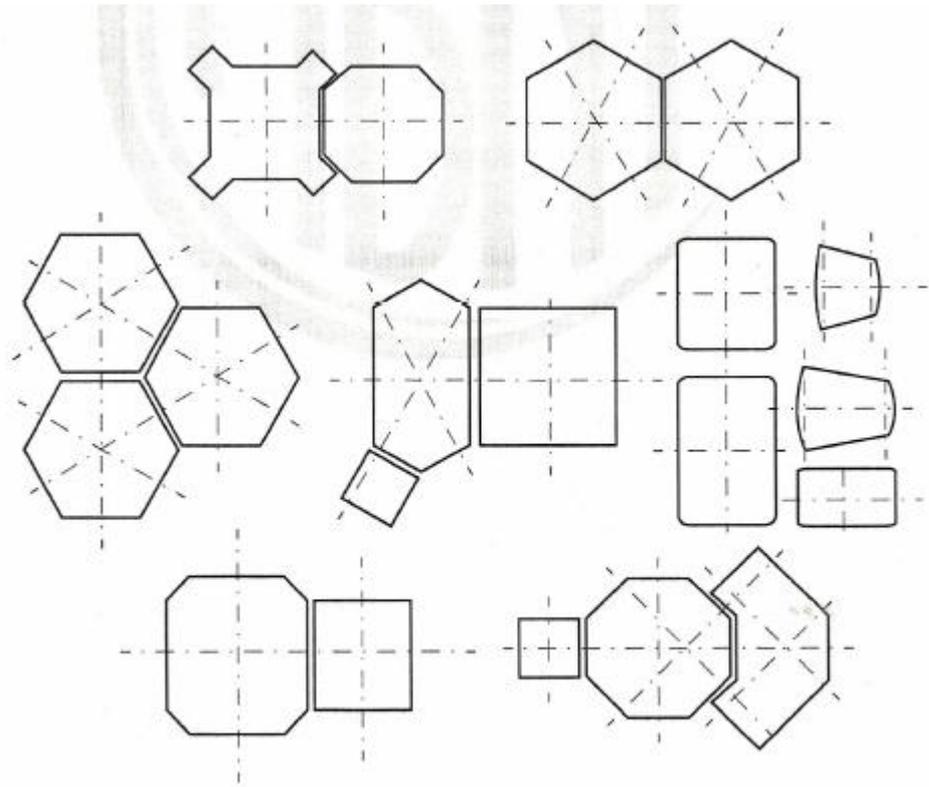


Figura D.4 — Exemplos de peças de concreto do tipo IV

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP. Dimensionamento de Pavimento Intertravado. São Paulo, ABCP, 2002.
2. ABNT NBR 9781:2013 – Peças de concreto para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio;
3. ABNT NBR 15953:2011 – Pavimento intertravado com peças de concreto — Execução;
4. FERNANDES, Idário. Blocos e Pavers – Produção e Controle de Qualidade. São Paulo, Editora Treino Assessoria e Treinamentos Empresariais, 2015.
5. MANUAL DE SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA, Publicação IPR – 743, 3ª Edição – DNIT. <http://www.dnit.gov.br>;
6. Normas para o Projeto das Estradas de Rodagem – DNER 1973 – MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM;
7. MANUAL DE PROJETO GEOMÉTRICO DE TRAVESSIAS URBANAS, Publicação IPR – 740, 1ª Edição – DNIT <<http://www.dnit.gov.br>>