

unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

Matheus Caetano Sampaio

Análise comparativa entre pavimento asfáltico e pavimento intertravado

Guaratinguetá
2016

MATHEUS CAETANO SAMPAIO

Análise comparativa entre pavimento asfáltico e pavimento intertravado

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação da Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. João Ubiratan de Lima e Silva

Guaratinguetá
2016

S192
a Sampaio, Matheus Caetano de
Análise comparativa entre pavimento asfáltico e pavimento
intertravado / Matheus Caetano de Sampaio – Guaratinguetá, 2016.
66 f. : il.

Bibliografia : f. 62-66

Trabalho de Graduação em Engenharia Civil – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016.

Orientador: Prof. Dr. João Ubiratan de Lima e Silva

1. Pavimentos de concreto 2. Blocos de concreto 3. Pavimentos de
asfalto I. Título

CDU 625.874



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

Análise comparativa entre pavimento asfáltico e pavimento intertravado

MATHEUS CAETANO SAMPAIO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE **GRADUADO EM ENGENHARIA CIVIL** APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL

Prof. Dr. Enos Arneiro Nogueira da Silva
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. João Ubiratan de Lima e Silva
Orientador/UNESP-FEG

Prof. Dr. Antonio Wanderley Terni
UNESP-FEG

Prof. Dr. Julio Santana Antunes
UNESP/FEG

Dezembro de 2016

DADOS CURRICULARES

MATHEUS CAETANO SAMPAIO

NASCIMENTO	04/01/1988
FILIAÇÃO	Daniel Siqueira de Sampaio Elizabeth Maria Caetano
2010/2016	Curso de Graduação em Engenharia Civil Universidade Estadual Paulista – “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Guaratinguetá.

AGRADECIMENTOS

Hoje, vivo uma realidade que parece um sonho, mas foi preciso muito esforço, dedicação, paciência e perseverança para chegar até aqui, e nada disso eu conseguiria sozinho. Minha eterna gratidão a todos aqueles que colaboraram para que esse sonho pudesse ser concretizado.

Agradeço aos meus pais, Daniel e Elizabeth, meus maiores exemplos. Obrigado por cada incentivo e orientação, pelas orações em meu favor, pela preocupação para que estivesse sempre andando pelo caminho correto.

Aos meus avôs, Hilda e Arimathea (in memorian), que foram como pais para mim e sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos da minha vida. Em especial, ao meu avô, que infelizmente não poderá estar presente nesse momento, mas que tenho certeza de que estaria muito feliz e orgulhoso por mim.

A minha namorada, Natali, que foi a grande parceira que o destino colocou em minha vida e que me apoiou sempre para que eu nunca desanimasse e quisesse desistir.

Aos grandes amigos que tive a oportunidade de conhecer nessa faculdade, República 69 e República CDM, que foram a minha grande família durante todos os anos que eu estive nessa instituição.

Ao professor Bento, que me orientou desde o início para a confecção desse trabalho e ao professor Ubiratan que assumiu minha orientação e ajudou a tornar esse sonho possível. Também aos professores Wanderley e Júlio que aceitaram fazer parte da minha banca.

A todos grandes professores que fizeram parte da minha formação acadêmica e todos outros membros e funcionários dessa grande instituição que tive a oportunidade de conviver.

Obrigado a todos, que mesmo não estando citados aqui, tanto contribuíram para a conclusão desta etapa e para a pessoa que sou hoje.

RESUMO

Na maioria das cidades de pequeno e médio porte no Brasil, não existe planejamento, dimensionamento e de pavimentos de vias urbanas. Esta falta de estudo pode ocasionar uma menor vida útil dos pavimentos e um alto custo de manutenção. Considerando que em algumas cidades as prefeituras não possuem verbas suficientes para a implantação de pavimentação, ou a manutenção, é de extrema importância os estudos relativos a tecnologias disponíveis de pavimentação. O objetivo desse trabalho é realizar uma análise comparativa de pavimentação urbana, utilizando como referencia a pavimentação asfáltica e a pavimentação articulada. Abordaremos nesse trabalho as análises técnicas, econômicas e ambientais das implementações da pavimentação.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentação. Concreto Asfáltico. Blocos de Concreto Intertravados.

ABSTRACT

In most cities of small and medium size in Brazil, there is no planning, design and urban road pavements. This lack of study could lead to a shorter life of floors and a high maintenance cost. Whereas in some cities the municipalities do not have sufficient funds for the implementation of paving or maintenance, it is extremely important studies on the available pavement technologies. The aim of this study is to perform a comparative analysis of urban paving, using as reference the asphalt paving and paving articulated. We will cover this work the technical, economic and environmental analyzes of the paving implementations.

KEYWORDS: Pavers. Asphalt Concrete. Concrete blocks interlocked.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Camadas que compõem um pavimento.....	23
Figura 2 – Exemplo de estrutura de pavimento com revestimento asfáltico.....	25
Figura 3 – Exemplo de estrutura de pavimento de blocos intertravados de concreto.....	26
Figura 4 - Preparo da caixa de base.....	36
Figura 5 - Esparrame da primeira camada do material de enchimento.....	37
Figura 6 - Irrigação para penetração do material de enchimento.....	38
Figura 7 - Tipos de deslocamentos resistidos por intertravamento.....	42
Figura 8 - Exemplo da diferença de iluminação do pavimento de concreto para o asfáltico.....	50
Figura 9 - Decibelímetro do tipo TES 1350 A.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da Vias – Tráfego leve e médio.....	24
Tabela 2 – Gráfico da espessura de pavimentação x CBR.....	36
Tabela 3 - Formato de blocos de concreto.....	44
Tabela 4 - Pesos por metro quadrado e aplicações dos pavers comerciais.....	45
Tabela 5 - Valores típicos de coeficientes de permeabilidade de alguns tipos de solos.....	49
Tabela 6 - Quadro de diagnóstico – “The feverchart”	53
Tabela 7 - Custos de construção, conservação e recuperação de vias com pavimento asfáltico e intertravados.....	54
Tabela 8 - Custos ao longo dos anos período de 2016 à 2030.....	55
Tabela 11 - Resultado da medição por decibelímetro.....	58

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - Pavimento de pé de moleque situado entre as cidades de Paraty-RJ e as cidades de Minas Gerais.....	16
Imagem 2 - Rua de pavimento de pé de moleque, localizada em Paraty-RJ.....	17
Imagem 3 - Execução da pintura de ligação ou imprimadura.....	39
Imagem 4 - Compactação do material com rolo vibratório liso tandem.....	40
Imagem 5 - Compactação do material com rolo de pneus.....	41

ABREVIATURAS E SIGLAS

ISC –	ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA
NBR -	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS
ABCP –	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND
SISEMA -	SISTEMA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS
IBAMA –	INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS
SEMAD –	SECRETARIA DO ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CERH –	RECURSOS HÍDRICOS
FEAM –	FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE
IEF –	INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS
IBGE –	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
ABEDA –	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	14
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
4	PAVIMENTAÇÃO.....	16
4.1	HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO.....	16
4.2	PAVIMENTAÇÃO URBANA.....	21
4.3	CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO.....	22
4.4	CAMADAS QUE COMPÕE O PAVIMENTO.....	23
4.5	PAVIMENTOS FLEXÍVEIS OU ASFÁLTICOS.....	27
4.5.1	Tipos de revestimentos asfálticos.....	28
4.5.1.1	Pavimentos Rígidos.....	28
4.5.1.2	Concreto Betuminoso Usinado a Quente.....	30
4.5.1.3	Pré Misturado de Graduação Densa a Frio.....	32
4.5.2	Caracterização do Pavimento Flexível.....	34
4.5.3	Execução das Técnicas de Trabalho.....	36
4.6	PAVIMENTOS INTERTRAVADOS.....	41
4.6.1	Conceitos e Generalidades de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto (Pavers).....	41
4.7	OS ASPECTOS AMBIENTAIS DA PAVIMENTAÇÃO FLEXÍVEL E INTERTRAVADA.....	46
4.8	CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS, CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO E CUSTOS DE MANUTENÇÃO ENTRE PAVIMENTAÇÃO FLEXÍVEL E INTERTRAVADA.....	51
4.9	COMPARAÇÃO DOS EFEITOS SONOROS ENTRE OS PAVIMENTOS INTERTRAVADOS E ASFÁLTICOS.....	56
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	59
5.1	METODOLOGIA.....	59
6	CONCLUSÕES FINAIS.....	60
	REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

Durante o período de 1940 aos anos 2000, foram criados 5.507 municípios no Brasil, essa urbanização ocorreu de forma muito intensa, principalmente por causa da modernização das atividades agrárias e à industrialização. A maioria das cidades não se desenvolveu da forma correta e passou a conviver com diversos problemas sociais e ambientais gerados por problemas de planejamento adequado.

Ainda que o Governo Federal criou o Estatuto das Cidades, estatuto que aborda a política da urbanização do nosso país, deixando claro sobre diversos temas como: Instrumentos da política urbana, parcelamento, edificações, direitos de superfícies, entre outros. O Estatuto das Cidades, diz que os próprios municípios devem criar suas leis no que diz respeito a política de urbanização.

Segundo Camarano e Beltrão (2000, p. 14) para o IBGE “a definição de população urbana tem um caráter político administrativo ao incluir todas as sedes de municípios e distritos independentemente do seu tamanho”. O Brasil delimita o sua urbanização segundo estes critérios. Assim, podemos afirmar que essa discussão sobre pequenas cidades e municípios tornou-se uma espécie de toma forma quando discutimos acerca da conceituação do que seria cidade.

Na tentativa de solucionar esses problemas de planejamento urbano, os gestores das cidades criaram um recurso chamado planejamento urbano-ambiental, que cria diretrizes e parâmetros, procurando garantir o desenvolvimento urbano de uma forma mais sustentável quanto ao meio ambiente e a qualidade de vida de seus moradores.

Embora a utilização dessa importante ferramenta, seja feita após a desorganização espacial já ter sido feita, ainda assim, ela é um instrumento indispensável para a expansão de forma ordenada das cidades no país.

Assim a necessidade de pavimentar um grande número de vias na maioria das cidades brasileiras torna a aplicação de um modelo de planejamento ambiental, durante as fases de implementação do projeto de pavimentação, muito importante. Isso porque

essa intervenção física pode modificar significativamente o meio ambiente, e trazer problemas de degradação ambiental, como geração de resíduos e agentes nocivos ao solo, além de contribuir com a impermeabilização do solo.

Um importante fato a ser considerado é que as cidades possuem diferentes tamanhos, populações e capacidade financeira. Um país como o Brasil, tem que levar em consideração o diferente tipo de necessidade. Uma cidade pequena não necessita de implementações asfálticas com mesmas características de uma megalópole como São Paulo-SP, que possui cerca de 12 milhões de habitantes.

Nas análises geográficas acerca dessas localidades, a sua caracterização torna-se, atualmente penosa, pois as várias classificações e categorizações são incompletas para certos agrupamentos e outras não contemplam cidades do porte demográfico abaixo de 10.000 habitantes.

A caracterização das cidades no Brasil não é um assunto muito simples de ser discutido, fugindo assim do escopo deste trabalho, apenas iremos considerar nesse trabalho o conceito de pequena cidade aquela com população inferior a 100.000 habitantes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O principal objetivo desse trabalho de graduação é realizar um comparativo entre dois métodos bastante difundidos na pavimentação brasileira, o método da pavimentação intertravada e o método da pavimentação flexível, os pavimentos flexíveis são compostos por uma mistura asfáltica e os intertravados são aqueles construídos com revestimentos em blocos de concreto pré-moldados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar uma revisão bibliográfica envolvendo conceitos e definições sobre as variáveis: facilidades na implementação, manutenção, aspectos ambientais e trafegabilidade, para os pavimentos flexíveis e intertravados. Não deixando de lado, o histórico da pavimentação e suas definições. Analisaremos as funções e camadas de pavimentos, assim como suas técnicas de trabalho.

Será feito um estudo sobre a manutenção e conservação de pavimentos asfálticos e intertravados.

Iremos abordar os aspectos da norma para dimensionamento dos blocos de concreto, que são utilizados na implementação de pavimentos intertravados.

Abordaremos os aspectos de permeabilidade dos pavimentos, assim como o cálculo do índice de permeabilidade desenvolvido por Darcy.

3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo deste trabalho é feita uma breve introdução sobre o tema que será estudado, nos pontos a seguir iremos comentar sobre os objetivos gerais e específicos do estudo.

O segundo capítulo, será a revisão bibliográfica do trabalho, tendo como objetivo nos tornar apto a realizar uma análise detalhada sobre o tema e ser capaz de extrair conclusões. Assim, nesse capítulo iremos abordar aspectos sobre pavimentação flexível e intertravada, no que diz respeito a pavimentação flexível iremos realizar uma revisão bibliográfica nas áreas de história da pavimentação e suas funções, a sua composição, materiais agregados, tipos de pavimentação flexível, dimensional, implementações, manutenção e seus custos e por fim aspectos ambientais, não deixando de lado os diferentes aspectos de sonoridade entre os pavimentos . Ainda em relação ao segundo capítulo, iremos realizar um estudo bibliográfico sobre a pavimentação intertravada, estudando seu conceito e generalidades, sua conservação e manutenção e também realizando um estudo no que diz respeito a aspectos ambientais.

No terceiro capítulo, iremos argumentar sobre a metodologia da realização desse trabalho, exaltando a forma como analisamos os estudos, afim de, nos tornarmos capazes de poder gerar conclusões coerentes com os estudos realizados anteriormente.

No quarto e último capítulo desse trabalho, iremos expor as conclusões geradas com o estudo dos dois tipos de pavimentação estudado no trabalho. Nesse capítulo iremos exaltar também os aspectos levantados no capítulo dos objetivos gerais e específicos.

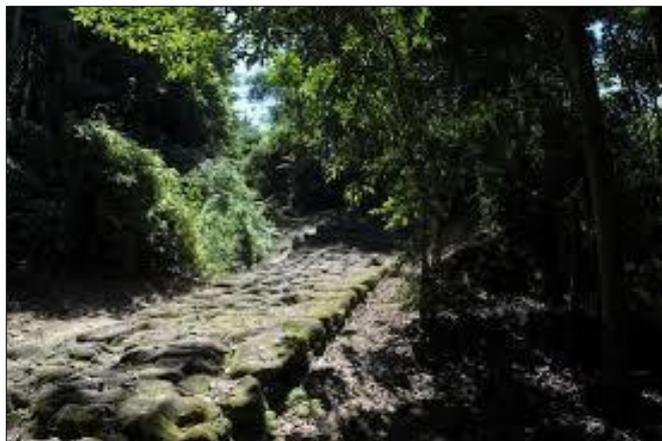
4 PAVIMENTAÇÃO

4.1 HISTÓRICO DA PAVIMENTAÇÃO

A origem da pavimentação se deu através de trilhas de terra no meio das vegetações vigentes nos locais aonde as cidades foram erguidas, depois, a inserção de pedras em um estado natural sobre o terreno, e mais tarde passou-se a serem talhadas para se ajustarem no terreno.

No Brasil, o primeiro tipo de pavimentação que encontramos é conhecido como pavimento de paralelepípedos, paralelas ou pé de moleque. Nesses pavimentos as pedras utilizadas possuem dimensionamentos próximos a 12 cm de largura, 20 cm de comprimento e 20 cm de altura. Este tipo de pavimento é muito utilizado nos dias de hoje nas cidades do interior do país. O seu assentamento é dado sobre uma espessa camada de areia, com juntas entre as peças de 2 cm. Esse tipo de pavimentação começou a ser utilizado pelos portugueses a partir de 1600, afim de, facilitar o transporte de ouro, e a locomoção no interior do país. Alguns exemplos de pavimentação com pedras pé de moleque podem ser vistas em cidades históricas do nosso país, como nas imagens a baixo.

Imagem 1 – Pavimento de pé de moleque situado entre as cidades de Paraty-RJ e as cidades de Minas Gerais.



Fonte: Tripadvisor (2016)

Imagem 2 – Rua de pavimento de pé de moleque, localizada em Paraty-RJ.



Fonte: Tripadvisor (2016)

Segundo Balbo (2007), surgiram regras e normas para a construção de estradas, principalmente entre 1825 e 1895, em que ocorreram períodos de consolidação de diversas teorias, como a elasticidade, resistência dos materiais, geodésica e geometria prática.

No Brasil durante o Império (1822-1889) foram poucos os desenvolvimentos nos transportes do Brasil, principalmente o transporte rodoviário. No início do século XX, havia no país 500km de estradas com revestimento de macadame hidráulico ou variações, sendo o tráfego restrito a veículos de tração animal (Prego, 2001). Em 1896 veio da Europa para o Brasil o primeiro veículo de carga. Em 1903 foram licenciados os primeiros carros particulares e em 1906 foi criado o Ministério da Viação e Obras Públicas.

Em 1928 foi inaugurada pelo presidente Washington Luiz a Rodovia Rio-São Paulo, com 506km de extensão, representando um marco da nova política rodoviária federal. Em 1949, quando da entrega da pavimentação de mais um trecho da que era conhecida como BR-2, a rodovia passou a se chamar Presidente Dutra. Também em 1928 foi inaugurada pelo presidente a Rio-Petrópolis.

Destaca-se em 1937 a criação, pelo presidente Getúlio Vargas, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), subordinado ao Ministério de Viação e Obras Públicas. Na década de 1940 observou-se um avanço de pavimentação fruto da tecnologia desenvolvida durante a 2ª Guerra Mundial. Em

1942, houve o contato de engenheiros brasileiros com engenheiros norte-americanos que construíram pistas de aeroportos e estradas de acesso durante a guerra utilizando o então recém-desenvolvido ensaio “*California Bearing Rati*” (CBR). Neste ano o Brasil possuía apenas 1.300km de rodovias pavimentadas, uma das menores extensões da América Latina. O grande impulso na construção rodoviária brasileira ocorreu nas décadas de 1940 e 1950, graças à criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) em 1946, oriundo do imposto sobre combustíveis líquidos. Destaque-se ainda a criação da Petrobras em 1953.

O ano de 1950 foi destacado por Prego (2001) como o início da execução de pavimentos em escala industrial e da organização de grandes firmas construtoras. Anteriormente, embora já existisse o Laboratório Central do DNER, não havia ainda procedimentos amplamente aceitos para a aplicação das tecnologias rodoviárias. Isto tanto é verdadeiro que a pavimentação da Presidente Dutra, em 1950, foi feita sem estudo geotécnico, com espessuras constantes de 35cm, sendo 20cm de base de macadame hidráulico e 15cm de um revestimento de macadame betuminoso por penetração dosado pela regra “a quantidade de ligante é a que o agregado pede”. Em alguns trechos se adotou pavimento de concreto de cimento Portland. Registre-se, contudo, já nesta obra os esforços de alguns engenheiros para implantação de métodos de projeto e controle.

Na década de 1950 foi feito um programa de melhoria das estradas vicinais, incluindo a abertura e melhoramento de estradas no Nordeste como forma de aliviar a precária situação dessa região castigada por secas periódicas. Em 1955 entrou em funcionamento a fábrica de asfalto da Refinaria Presidente Bernardes da Petrobras, com capacidade de 116.000t/ano. Em 1956, a indústria automobilística foi implantada no país. O governo de Juscelino Kubitschek (1956-1961) impulsionou o rodoviarismo aumentando sobremaneira a área pavimentada do país. Em 1958 e 1959, foram criados, respectivamente, o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), no âmbito do CNPq, atuando em colaboração com o DNER, e a Associação Brasileira de Pavimentação (ABPv). Brasília foi inaugurada em 1960.

Durante o governo militar (1964-1984), entre os projetos de estradas de destaque estão a Rodovia Transamazônica e a Ponte Rio-Niterói. Em 1985, o Brasil

contava com aproximadamente 110.000km de rodovias pavimentadas, saltando em 1993 para aproximadamente 133.000km, conforme indica a evolução da rede rodoviária, que não inclui a rede viária municipal, responsável pela grande malha não-pavimentada no país. Números de 2005 apontam 1.400.000km de rodovias não-pavimentadas (federais, estaduais e municipais) e 196.000km de rodovias pavimentadas, sendo 58.000km federais, 115.000km estaduais e 23.000km municipais. Esse percentual (de cerca de 10% de vias pavimentadas) contrasta com um percentual nos Estados Unidos e na Europa de mais de 50% e de uma média na América do Sul superior a 20%.

Para ilustrar o atraso do país em relação aos investimentos na área de infraestrutura, principalmente na pavimentação, em 1998 o consumo de asfalto por ano nos Estados Unidos era de 27 milhões de toneladas, tendo ultrapassado 33 milhões em 2005. No Brasil, somente nos últimos 2 anos é que este consumo retomou a marca de 1998 de cerca de 2 milhões de toneladas por ano. Levando-se em consideração que os dois países têm áreas semelhantes, de 9,8 e 8,5 milhões de km², respectivamente, fica clara a condição precária de desenvolvimento do país neste aspecto.

A partir da década de 1880, com a popularização dos automóveis, tornou-se necessária a aplicação das técnicas de pavimentação que estavam sendo desenvolvidas e a utilização de materiais mais apropriados para implementação da pavimentação, pois com a grande demanda da pavimentação, não era mais viável talhar grandes quantidades de pedra.

Existem registros de que o concreto tenha sido utilizado pela primeira vez em Grenoble na França em 1876, segundo Balbo (2007) e já no mesmo ano em Bellafontaine nos Estados Unidos. (CORINI, 1947 *apud* BALBO, 2007)

Ainda segundo Balbo (2007), em 1870 foi realizada a primeira pavimentação com asfalto betuminoso na cidade de Newark, no estado de New Jersey, nos EUA.

Foi a partir desse período que se desenvolveram as pesquisas e órgãos responsáveis para a normalização na pavimentação, pistas experimentais foram construídas, principalmente nos Estados Unidos. Os estudos realizados por esses órgãos não contemplam o clima e os solos brasileiros, mas mesmo assim, o seu uso ainda é recomendado em nosso país.

Um tipo de revestimento que tem sido utilizado como uma alternativa é o que utiliza betume em sua composição, é o pavimento intertravado, embora segundo Senço (2007), seja um material utilizado no Brasil já há mais de sessenta anos, época em que começou experimentalmente a se pavimentar algumas vias da cidade de São Paulo. Esse tipo de pavimentação começou a ganhar um espaço considerável no mercado, utilizando modelos de blocos com formatos e dimensões variando em diversas cores.

Segundo Smith (2000), no início da década de 1980, a produção anual já ultrapassava 45 milhões de metros quadrados, sendo 66% desde total aplicados em vias de tráfego urbano. A indústria mundial de fabricação desse tipo de pavimentação chegou a incrível marca de 100 m² por segundo durante os dias úteis de trabalho.

Ainda em relação a urbanização no nosso país nos últimos 70 anos ocorreu um desenvolvimento muito acelerado do país, sendo criados nesse período cerca de 5600 municípios, dados retirados do Censo. A maioria das cidades do Brasil se desenvolveu de uma forma desorganizada, encontrando problemas sociais e ambientais gerados pela falta de planejamento adequado.

Com o intuito de resolver estes problemas de urbanização e criar mecanismos de planejamento para o desenvolvimento destas cidades, muitos municípios tem feito uso do planejamento urbano ambiental, que cria parâmetros e diretrizes, que garantem o desenvolvimento urbano sustentável.

Ainda que o planejamento urbano ambiental só esteja sendo implementado após a desorganização espacial ter sido instalada e tornada realidade, ela ainda é um instrumento indispensável para ordenar a expansão dos municípios.

4.2 PAVIMENTAÇÃO URBANA

Obras de pavimentação asfáltica em vias urbanas consomem boa parte do orçamento de pequenas e médias prefeituras e fazem parte de um projeto maior que engloba projetos individuais de drenagem, terraplanagem, iluminação, obras operacionais, paisagismo, projeto geométrico, além do próprio projeto de pavimentação.

Um projeto de pavimentação asfáltica padrão geralmente compreende três camadas: base, composta de um material mais resistente que o solo, como brita corrida; sub-base, que pode ser uma camada mais fina de brita, betume ou cimento e a cobertura, feita de massa asfáltica. Pode-se adotar uma armadura de aço na base, dependendo do tipo de tráfego e da capacidade de suporte do terreno – as premissas básicas que norteiam todo projeto de pavimentação e que são calculadas pelo Índice de Suporte Califórnia (ISC), ou pelo *California Bearing Ratio* (CBR).

O projeto de pavimentação e drenagem de uma via urbana em condições ideais prevê solo plano com um mínimo de inclinação. Mas em grande parte das vezes, as cidades se expandem sobre topografias acidentadas. Nestes casos, o arruamento exige critérios rígidos e requer esforços e dinheiro extra das prefeituras.

Em vias urbanas, os dispositivos de drenagem de águas pluviais são relativamente padronizados e constituídos por: sarjetas (para condução), bocas de lobo ou bocas de leão (para captação), poços de visita (para inspeção) e canalizações tubulares ou celulares (para a condução e ou lançamento). Em condições normais, os dispositivos hidráulicos restringem-se a sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e canalizações. A largura da sarjeta, em geral, é definida em função da largura da via, sendo 0,30 m em vias de tráfego local e de 0,50 m em vias de largura superior a 7 m. Utilizam-se bocas de leão quando o local não permite a instalação de uma boca de lobo (não há espaço atrás da guia); nestes casos, são construídas sob a sarjeta.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO

Segundo a SIURB/PMSP (2004), as vias urbanas a serem pavimentadas devem ser classificadas de acordo com a instrução de dimensionamento de pavimentos flexíveis de vias urbanas submetidas a tráfego leve e médio no município de São Paulo. Para esse trabalho iremos considerar apenas a implementação para pequenas cidades, assim consideraremos a implementação para tráfego leve.

Tabela 1- Classificação da Vias – Tráfego leve e médio.

FUNÇÃO PREDOMINANTE	TRÁFEGO PREVISTO	VIDA DE PROJETO (ANOS)	VOLUME INICIAL DA FAIXA MAIS CARREGADA		N	N Característico
			VEICULO LEVE	CAMINHÕES E ÔNIBUS		
Via Local	Leve	10	100	4	$2,7 \times 10^4$	10^5
			a	a	a	
			400	20	$1,4 \times 10^5$	
Via Local e Coletora	Médio	10	401	21	$1,4 \times 10^5$	5×10^5
			a	a	a	
			1500	100	$6,8 \times 10^5$	

Fonte: Instrução Geotécnica da SIURB/PMSP.

Para efeito de dimensionamento da estrutura do pavimento, os tráfegos serão caracterizados conforme indicado na tabela acima, ou seja:

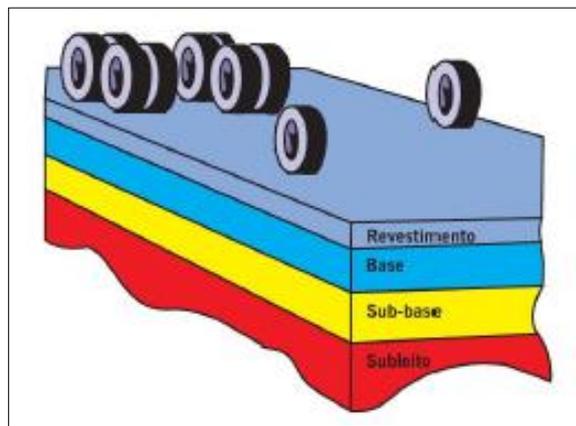
- Tráfego Leve: "N" característico = 10^5 solicitações

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

4.4 CAMADAS QUE COMPÕE O PAVIMENTO

Segundo Júnior (1992), nomeamos de pavimento a estrutura construída sobre a camada final de terraplanagem, essa estrutura recebe as tensões oriundas da passagem do tráfego de veículos e efeitos dos intempéries, resistindo e distribuindo ao terreno da fundação os esforços verticais, horizontais e tangenciais. Além de proporcionar aos usuários conforto, segurança e economia.

Figura 1: Camadas que compõem um pavimento.



Fonte: Adaptado de Bernucci et all (2010,p.10)

Júnior (1992) define o subleito como uma camada de fundação do pavimento, esta camada deve ser regularizada e compactada, respeitando as cotas do projeto, antes da execução das camadas posteriores. Segundo a (ABCP) Associação Brasileira de Cimento Portland (2010), o solo utilizado não deve ser expansivo. Para se determinar a expansão do solo utilizamos o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC), o ensaio ISC realizado em laboratório, é normalizado pela NBR 9895/87.

Este ensaio consiste na relação entre pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão de diâmetro padronizado no corpo de prova de solo e pressão necessária para produzir a mesma penetração numa mistura padrão de brita estabilizada granulometricamente.

Ainda no que diz respeito a esse ensaio, Júnior (1992) afirma que o caso do valor do ISC do subleito natural seja inferior ao descrito em projeto, é necessário a

execução de uma camada de reforço cujo material apresente capacidade de suporte superior ao do subleito de projeto.

A ABCP (2010) afirma que a realização correta deste ensaio tem como objetivo, quando forem utilizados estes parâmetros na execução, proporcionar uma camada firme, sobre a qual as demais camadas possam ser compactadas, além de ter um papel decisivo no estabelecimento da capacidade estrutural do pavimento.

Já para Carvalho (1998), é aconselhável que esta camada de reforço tenha espessura aproximada de 30 cm e com ISC de no mínimo cinco pontos percentuais superior ao do subleito.

A camada complementar à camada de base é chamada de sub-base, segundo Júnior (1992), essa camada é executada após o subleito ou reforço de subleito quando se houver necessário. Já de acordo com Fioriti (2007), a sub-base poderá ser material granular, como solo-brita ou outro solo escolhido no projeto.

Esse material granular também é definido pelo valor de ISC mínimo necessário, que com a espessura da camada, será função do tráfego e das condições de suporte de subleito (CARVALHO,1998).

Segundo Maciel (2007), a base é a camada que recebe e realiza a distribuição uniforme dos esforços oriundos do tráfego sobre o qual se executa o revestimento.

Os materiais granulares que são utilizados para a camada de base e para sub-base devem ser de característica pétreo, como brita granulada, bica corrida e cascalho.

Já analisando o revestimento, segundo Bernucci (2007), O revestimento é a camada responsável por receber diretamente os esforços provenientes do tráfego de veículos, além de estar suscetível à ação dos 18 agentes climáticos, tais como sol, chuva e variações de temperatura. Outras atribuições desta camada é proporcionar conforto e segurança aos usuários, além de proteger as camadas anteriores por meio da impermeabilização do pavimento.

Essa camada é a responsável por absorver os esforços de compressão e de tração causados por flexão, diferentemente das outras camadas que são submetidas principalmente à compressão.

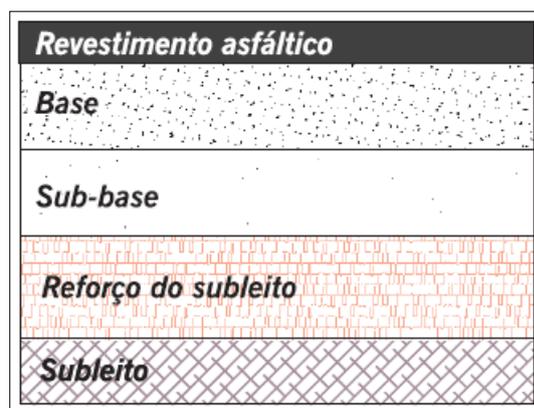
Segundo Bernucci *et alii* (2007), esta camada é responsável por absorver esforços de compressão e tração causados pela flexão, diferentemente das outras camadas que são submetidas principalmente à compressão.

Esta é a última camada do pavimento, apresentando características diferentes para cada tipo de revestimento, as definições de Júnior (1992):

- nos revestimentos flexíveis enquadram-se todos os revestimentos que apresentam betume em sua composição, tais como asfalto, emulsão asfáltica e alcatrão. Podem ser encontrados nos tipos anti pó, tratamento superficial e misturas betuminosas;
- nos revestimentos semi rígidos estão incluídos os revestimentos compostos por blocos, geralmente utilizados em calçamento, tais como peças pré-moldadas de concreto, paralelepípedos e peças pré moldadas de cerâmica. O revestimento semi rígido mais comum é o com peças pré-moldadas de concreto.

Na Figura 2 é apresentado um exemplo de estrutura de um pavimento com revestimento flexível.

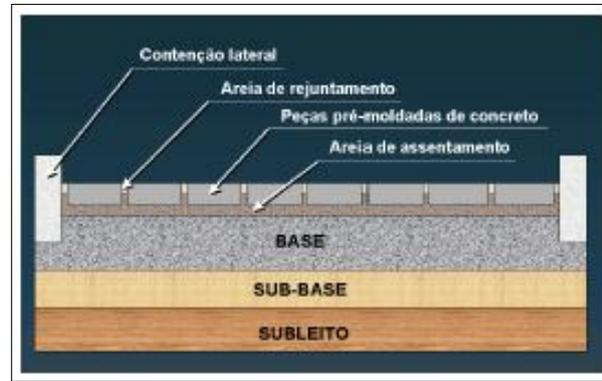
Figura 2 – Exemplo de estrutura de pavimento com revestimento asfáltico



Fonte: Bernucci et all (2007, p. 338)

Na Figura 3, observamos o esquema do revestimento semi rígido.

Figura 3 – Exemplo de estrutura de pavimento de blocos intertravados de concreto.



Fonte: Muller, R. M. (2005, p.19)

Segundo Maciel (2007) as espessuras destas camadas irão depender das seguintes características:

- intensidade do tráfego que circulará sobre o pavimento;
- características do terreno de fundação;
- qualidade dos materiais constituintes das demais camadas.

Em geral, a seleção dos materiais utilizados nestas camadas depende das propriedades de cada um quando estão compactados, tais como boa resistência a compressão e tração, baixa deformação permanente e permeabilidade à água, coerente com seu papel estrutural (BERNUCCI *et alii*, 2007).

4.5 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS OU ASFÁLTICOS

Os pavimentos betuminosos, também chamados de flexíveis são assim classificados, por sofrerem deformações elásticas muito significativas sob o carregamento aplicado e a carga se distribui entre as camadas.

Este tipo de pavimento se caracteriza por apresentar como revestimento uma associação de agregados e materiais betuminosos.

Existem duas maneiras de se realizar uma associação: por penetração ou por mistura.

A penetração pode ser executada de duas formas:

- Penetração direta: É quando a execução é feita mediante ao espalhamento prévio de uma camada de brita de granulometria apropriada, que após compressão fica com a espessura desejada, e em seguida a aplicação de material betuminoso que penetra nos vazios do agregado. O acabamento se faz com uma capa selante, esse revestimento é chamado macadame betuminoso;
- Penetração invertida: É a execução do revestimento através de uma aplicação de material betuminoso, seguida de espalhamento e compressão de agregado de granulometria apropriada. Este procedimento pode ser realizado em várias camadas. Existe a execução de somente uma camada, que se denomina tratamento superficial simples. Com mais de uma camada, denomina-se duplo, triplo ou quádruplo.

Segundo Bernucci *et alii* (2007), no Brasil cerca de 95% das estradas pavimentadas, além das ruas, são de revestimento asfáltico. Isso ocorre principalmente porque o asfalto “proporciona forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante, é durável e resistente à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, com ou sem aditivo”.

Na escolha do ligante mais adequado, devem-se considerar diversos fatores tais como temperatura ambiente, temperatura da superfície na qual o betume será aplicado,

umidade e vento, tipo e estado dos agregados, equipamentos usados, etc (BAPTISTA,1974).

Podemos dizer que todos os ligantes asfálticos possuem betume, que é uma mistura de hidrocarbonetos solúvel no bissulfeto de carbono.

Já o asfalto utilizado na pavimentação é obtido pela destilação do petróleo e é um adesivo termo visco plástico, impermeável e pouco reativo.

(BERNUCCI *et alii*,2007)

No Brasil este material semi sólido a temperaturas baixas, visco elástico a temperatura ambiente e líquido a altas temperaturas tem a denominação de Concreto Asfáltico de Petróleo (CAP).

Com o passar do tempo, o ligante asfáltico perde alguns de seus componentes e apresenta certo enrijecimento. Para recuperar a flexibilidade do ligante é utilizada a técnica de reciclagem a quente ou a frio (BERNUCCI, 2007).

Os agentes rejuvenescedores são utilizados no processo de reciclagem a quente. Na reciclagem a frio são utilizados os agentes rejuvenescedores emulsionados (JÚNIOR, 1992)..

4.5.1 Tipos de revestimentos asfálticos

4.5.1.1 Pavimentos rígidos

A pavimentação rígida é toda pavimentação cuja rigidez é muito elevada em relação às camadas inferiores, absorvendo assim todas as tensões que advém do carregamento nela aplicada. (DNIT, 2006)

Existem alguns tipos de pavimentação rígida, abaixo será mostrado alguns desses tipos:

- **Pavimentação de concreto simples**

É o pavimento de concreto Portland em que apenas o concreto combate as tensões solicitantes, não contendo nenhum tipo de armadura distribuída (não são

consideradas armaduras eventuais sistemas de ligação de transferência de carga entre as placas formadas pelas juntas longitudinais e transversais).

- **Pavimentação do tipo whitetopping**

É um pavimento de concreto sobreposto a um pavimento flexível já existente.

Muito usado para a recuperação de estradas em más condições. O pavimento flexível serve como sub-base para o concreto. Nesse tipo de pavimentação armaduras distribuídas não são usadas para suportar tensões solicitantes. As tensões são suportadas pelo próprio concreto e no máximo são usadas armaduras para eventuais sistemas de transmissão entre placas.

- **Pavimentação estruturalmente armada**

A pavimentação estruturalmente armada possui a armadura com a finalidade estrutural e tem a função de combater tensões de tração na flexão gerada na placa.

Nesse tipo de pavimento a armação é colocada na parte inferior das placas, pois é nesta região a maior solicitação de esforços.

- **Pavimentação em concreto rolado**

É muito indicado para locais onde há circulação de veículos em baixa velocidade, independentemente de seu peso. Por exemplo, em estacionamentos, pátios de manobras, rodovias vicinais. Esse concreto possui baixa quantidade de água e também é utilizado para a execução de sub-bases de pavimentos como no caso do Rodoanel Mário Covas, em São Paulo.

Segundo Carvalho, da ABCP (Associação Brasileira de Concreto Portland), a aplicação do concreto rolado evita deformações excessivas e uniformiza o suporte.

- **Pavimentação com peças em concreto pré-moldados**

As pavimentações constituídas por peças pré-moldadas são feitas em diversos formatos, junta postos com ou sem articulações e rejuntadas com asfalto. Essa pavimentação é adequada para estacionamentos, vias de acesso e desvio de tráfego leve.

4.5.1.2 Concreto Betuminoso Usinado a Quente

Júnior (1992), ressalta que em uma usina estacionária é realizada a mistura dos agregados e dos ligantes e então a mesma é levada até o local de aplicação para ser lançada.

O concreto asfáltico é o revestimento mais nobre, produzido através de usinagem à quente.

Em nosso país um dos tipos de revestimento asfáltico mais comum é o concreto asfáltico (CA), também conhecido como concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ), (BAPTISTA, 1976).

Além do rigoroso controle de qualidade o CBUQ, é o mais durável, e confortável em termos de trafegabilidade, e também o mais caro em termos de execução.

No processo de usinagem a quente ocorre a mistura dos agregados, de vários tamanhos, e do ligante, concreto asfáltico à quente. Eles são aquecidos em temperaturas já estabelecidas de acordo com as características de viscosidade e temperatura do ligante (BERNUCCI *et all*, 2007).

Segundo Bernucci *et all* (2007), o processo de usinagem a frio ocorre a pré-mistura de agregados de diversas granulometrias (gráudos, miúdos e de enchimento) e da emulsão asfáltica de petróleo (EAP). O autor ainda comenta que eventualmente o ligante poderá sofrer um pequeno aquecimento, mas em geral ele é utilizado em temperatura ambiente.

Bernucci ainda afirma que nos casos de selagem e restauração de algumas características funcionais dos pavimentos, também é possível utilizar misturas asfálticas que são processadas em usinas móveis para que a mistura fique pronta imediatamente antes da aplicação no pavimento. Em geral estas misturas são relativamente fluídas, tais como a lama asfáltica e o microrrevestimento.

“A lama asfáltica consiste na associação de agregado mineral, material de enchimento (*filler*), emulsão asfáltica e água, com consistência fluída, uniformemente espalhada sobre uma superfície previamente preparada.” (DNER-ES 314/97)

Assim, este material é geralmente aplicado em ruas e vias secundárias e utilizado na manutenção de pavimentos cujos revestimentos apresentam desgaste superficial e pequeno grau de trincamento, agindo como impermeabilizante e rejuvenescedor da condição funcional do pavimento. (BERNUCCI *et alii*, 2007).

De acordo com Bernucci *et alii* (2007), o micro revestimento asfáltico utiliza o mesmo princípio e concepção da lama asfáltica, no entanto, utiliza emulsões asfálticas modificadas com polímeros para tornar maior a vida útil do pavimento.

Pode existir a necessidade de recuperar a sua capacidade de suporte de carga por meio de adição de camadas ou então pela retirada da parte deteriorada e execução de nova camada de revestimento asfáltico, mas apenas quando um pavimento asfáltico se deterioriza estruturalmente. No caso de corte, este material poderá ser reaproveitado por reciclagem (BERNUCCI *et alii*, 2007).

Ainda segundo Bernucci *et alii* (2007), as principais funções dos tratamentos superficiais são:

- adequar uma camada de rolamento com alta resistência ao desgaste, porém com pequena espessura;
- impermeabilizar e proteger a estrutura do pavimento;
- promover um revestimento antiderrapante e de alta flexibilidade para acompanhar as deformações da infra estrutura.

Assim, de uma forma geral, para pavimentos urbanos, os tipos de revestimentos mais utilizados são o tratamentos superficial e o concreto betuminoso usinado à quente.

O Departamento Nacional de Infra Estrutura de Transporte classifica os tratamentos superficiais como revestimentos que apresentam as melhores condições para desenvolver uma aderência satisfatória. Quanto aos custos em geral, tem-se que os tratamentos superficiais custam menos que o concreto asfáltico.

As normas que existem para pavimentos asfálticos abrangem desde os insumos para produção do pavimento até a execução dos serviços de implementação do projeto, não deixando de fora os testes e ensaios necessários para validação do pavimento.

4.5.1.3 Pré Misturado de Graduação Densa a Frio

Segundo Brosseaud(2002), existe uma crescente utilização de misturas a frio como uma solução alternativa na execução de bases e revestimentos asfálticos, graças à sua simplicidade e rapidez de execução a frio. No entanto, no Brasil, seu maior emprego ainda se destina à execução de camada de regularização e reforço de estrutura do pavimento (binder) e de serviços rotineiros de conserva, tipo tapa buracos (ABEDA, 2001).

Até hoje, alguns departamentos de transportes, nos Estados Unidos, demonstram pouco interesse na utilização de misturas a frio como uma alternativa às misturas a quente disponíveis. Esse fato se dá as limitações das misturas a frio com respeito as condições climáticas e de lenta cura. Além disso, a longa durabilidade e estabilidade desse tipo de pavimento ainda necessitam ser avaliadas. Contudo, em áreas rurais, onde não existe plantas de misturas a quente e onde altos custos de transporte de combustível e outros materiais seriam esperados, misturas de graduação densa a frio oferecem boas vantagens. (AIKMAN, 1981).

Essas misturas a frio são realizadas comumente com emulsões asfálticas catiônicas, caracterizando misturas sempre espalhadas e compactadas na temperatura ambiente (SANTANA,1993). Segundo Potti et al. (2002), a qualidade do revestimento, assim como a densidade e as propriedades mecânicas finais desejadas, dependem do comportamento de ruptura da emulsão. Assim, segundo o *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* (1989), o principal elemento para misturas a frio está na escolha de uma emulsão correta com a reatividade do agregado selecionado.

Algumas literaturas apresentam as misturas a frio produzidas com emulsão asfáltica como sendo mais adequadas a uma utilização em climas mais quentes e para tráfegos leves e médios (THANAYANA, 2002).

No Brasil, segundo Santana(1993), as misturas asfálticas usinadas constituídas por agregado miúdo são chamadas de argamassas asfálticas e as constituídas por agregados graúdos e argamassa asfálticas são denominados pré-misturados (PM). A

classificação dos pré-misturados a frio (PMF) envolve a granulometria (quantidade de argamassa e de agregados) e a quantidade de vazios. Tradicionalmente, os PMFs são classificados em três classes quanto o seu volume de vazios (V_v): Aberto ($V_v > 22\%$), Semi denso ($15 < V_v < 22\%$) e Denso ($V_v < 15\%$). Ainda não existe uma concordância internacional a respeito desses valores.

Segundo Serfass (2002), a densidade da mistura a frio aumenta consideravelmente com o resultado da cura e adensamento pelo tráfego. Esse aumento no adensamento pode ser igual, ou maior a 5%. Já a respeito de misturas a quente isso não acontece, observa-se pouca variância durante os primeiros meses ou anos.

Revestimentos com alto teor de vazios, entre 15% e 25%, comportam-se como uma superfície permeável. Esta é capaz de drenar água reduzindo o *spray* e poças de água. Esta estrutura aberta parece colaborar para a redução de barulho, tornando o pavimento mais silencioso. Também a rugosidade da superfície aumenta a resistência à derrapagem e, graças a sua flexibilidade, promove características de resistência à reflexão de trincas, Shatnawi e Holleran(2003).

No geral, os equipamentos necessários para o espalhamento e compactação das misturas a frio não são tão sofisticados quanto aqueles requeridos pelas misturas a quente. Segundo o *Asphalt institute* (1989), sempre que adequados materiais estão disponíveis, uma planta de mistura pode funcionar com alta produção e baixo custo. Portanto, a facilidade para a obtenção da massa asfáltica, bem como aplicação em pista, faz com que o serviço PMF seja uma alternativa viável para órgãos que desejam pavimentar vias e não dispõem de grandes recursos financeiros e grandes equipes técnicas (ABEDA,2001).

O fator financeiro deve ser levado em consideração, mas um importante fator na implementação do PMF é o fato que a mão de obra local pode ser absorvida, assim, em uma implementação em lugares remotos, onde a mão de obra técnica é escassa, a própria população pode ser absorvida no projeto.

4.5.2 Caracterização do Pavimento Flexível

Segundo Greco (2010), realizar o dimensionamento de um pavimento significa determinar as espessuras das camadas que constituem esse pavimento de forma que o reforço do subleito, sub base, base e revestimento resistam e transmitam ao subleito as pressões impostas pelo tráfego, sem levar o pavimento à ruptura ou algum tipo de deformação.

Existem muitos métodos para se realizar esse dimensionamento do pavimento betuminoso, os mais utilizados são:

- Método Índice de Grupo
- Método HBR- *Highway Research Board*
- Método USACE
- Método AASHTO
- Método DNER – Simplificação do método USACE, muito utilizado no Brasil.
- Método IP 04 – Desenvolvido para dimensionar as ruas da cidade de São Paulo.

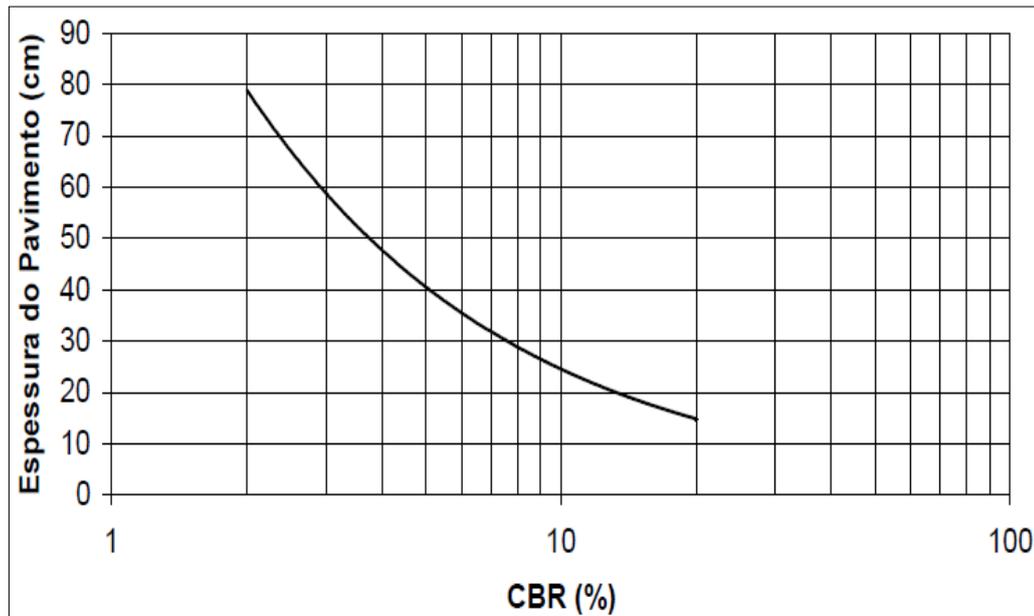
Segundo o método IP 04, para determinarmos a espessura total do pavimento, o Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR - California Bearing Ratio) é a relação, em porcentagem, entre a pressão exercida por um pistão de diâmetro padronizado necessária à penetração no solo até determinado ponto (0,1” e 0,2”) e a pressão necessária para que o mesmo pistão penetre a mesma quantidade em solo-padrão de brita graduada.

Através do ensaio de CBR é possível conhecer qual será a expansão de um solo sob um pavimento quando este estiver saturado, e fornece indicações da perda de resistência do solo com a saturação.

Apesar de ter um caráter empírico, o ensaio de CBR é mundialmente difundido e serve de base para o dimensionamento de pavimentos flexíveis.

Definido o tipo de tráfego do pavimento e determinado o suporte representativo do subleito, a espessura total básica do pavimento (HSL), em termos de material granular, será fixada de acordo com o gráfico 2, apresentado a seguir:

Tabela 2 – Gráfico da espessura de pavimentação x CBR.



Fonte: Instrução Geotécnica da SIURB/PMSP.

Valores tabelados do gráfico acima.

CBR	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20
Heq	79	59	48	41	35	32	29	27	25	23	21	18	15

(fonte: US Army Corps of Engineers)

4.5.3 Execução das Técnicas de Trabalho

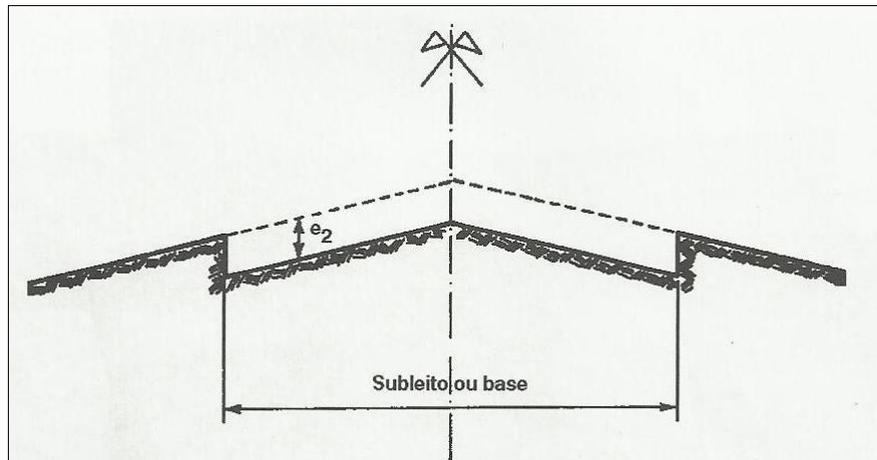
O início do trabalho de implementação de pavimentação se inicia logo após a terraplanagem ou sobre leitos de estradas de terra. Isso porque a pavimentação corrige os defeitos de superfície deixados pelo processo anterior, o nivelamento do subleito é realizado por distribuidores mecânicos de agregados e irrigadeiras de no mínimo 5.000 litros. Para se realizar a compressão utilizamos rolos compressores de três rolos metálicos com peso de 10 a 12 toneladas.

Segundo Senço (2001), o esquema de aplicação dos rolos compactadores segue a norma geral: da borda para o centro, nos trechos em tangente; e da borda interna para a externa nas curvas, em passadas longitudinais. Para execução do reforço do subleito é necessário que a importação do material obedeça à marcação dos alinhamentos laterais fixados por piquetes espaçados. O material deve ser esparramado de tal forma que após a compactação resulte em espessuras de projeto, normalmente sendo o mínimo entre 10 a 20 cm.

Assim que a preparação do subleito e do reforço são finalizadas, inicia-se o preparo da caixa de base.

A figura 4, nos mostra o esquema do preparo da caixa de base.

Figura 4: Preparo da caixa de base

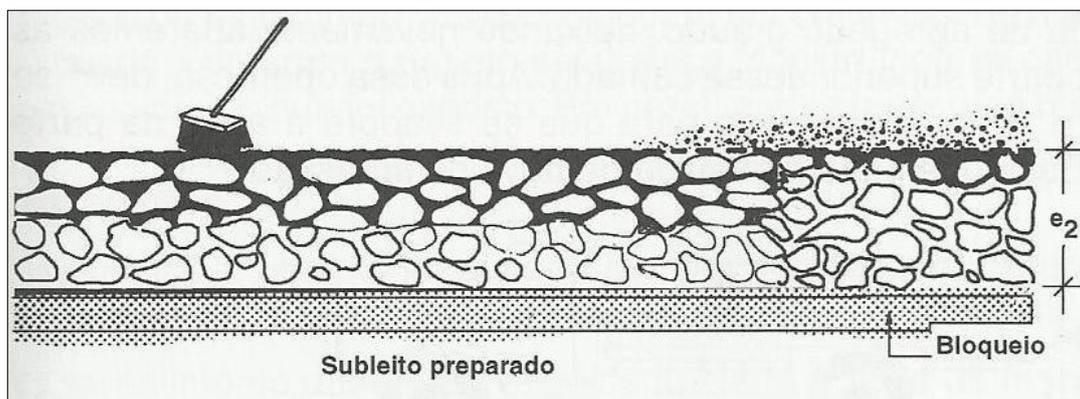


Fonte: Senço (2001, p.20)

Essa camada de sub base é feita de um agregado graúdo, podendo ser pedra britada, material de enchimento e água para dar ligamento.

Ainda segundo Senço (2001), O agregado graúdo é distribuído na quantidade que após a compressão atinja a espessura prevista em projeto. Em seguida é comprimida em toda largura da camada começando das bordas para o centro, utilizando um compressor de três rolos metálicos. A compressão deverá continuar até que os agregados não formem ondas na frente do rolo compressor. Após a primeira compressão, utilizam-se vassouras mecânicas ou vassouras comuns para esparramar o material de enchimento sobre a superfície comprimida até a saturação dos vazios da camada, observada na figura 5.

Figura 5: Esparrame da primeira camada do material de enchimento.

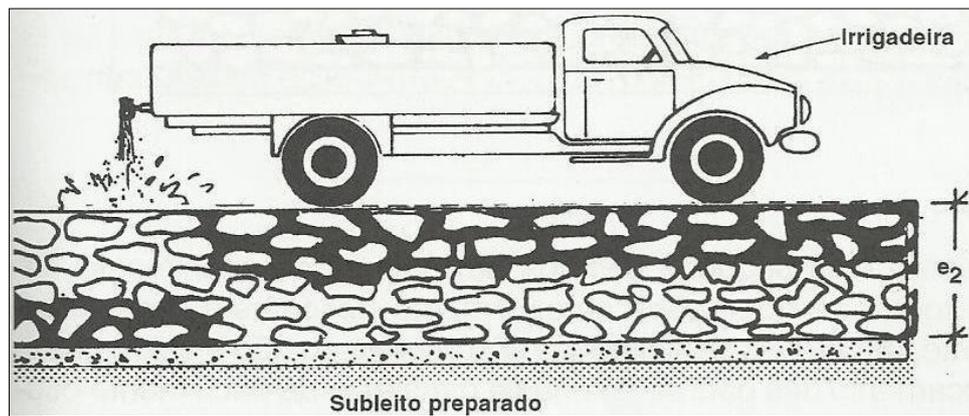


Fonte:

Senço (2001, p.23)

Depois é realizada a irrigação para que o material de enchimento penetre até a parte inferior do agregado graúdo deixando as frestas novamente aparente, ilustrada na figura 6.

Figura 6: Irrigação para penetração do material de enchimento



Fonte: Senço (2001, p.23)

Após a evaporação da água a superfície é comprimida novamente e completada com material de enchimento, assim repete-se as operações anteriores até que os agregados graúdos parem de se deslocar (SENÇO, 2001).

No período de sete à quinze dias, existe a necessidade de manter a camada de sub-base umedecida até que seja feita a imprimação impermeabilizante. Para a execução da base, é utilizada uma mistura dosada em usina contendo agregados, material de enchimento e água (SENÇO, 2001).

Ainda segundo Senço (2001), a usina deve ter capacidade superior a 100 t/h com três ou mais silos; misturador do tipo eixos gêmeos paralelos, girando em sentidos opostos para produção de mistura uniforme; dosador de umidade precisa e constante.

A mistura homogênea é despejada e distribuída em camadas uniformes por um distribuidor de agregado autopropulsionado que permite regulagem da espessura prevista em projeto. Em casos de ocorrências de cavidades pode ser realizado o preenchimento manual. Após o espalhamento inicia-se a compactação (das bordas para o centro). “A compactação deve ser feita até que a massa específica aparente atinja o valor previsto no projeto do pavimento” (SENÇO, 2001).

Executada a compactação por rolos compressores liso, o acabamento é feito por rolos compactadores lisos de pneu que proporcionam superfícies uniformes e isentas de saliências. O umedecimento da superfície deve estar dentro dos limites de tolerância das normas construtivas (SENÇO, 2001).

Depois da base é necessária a execução da pintura de ligação ou imprimadura, como ilustrado na imagem 3, para aumentar a aderência entre revestimento asfáltico e camada inferior, e para impermeabilização e aglomeração de partículas soltas da base (SENÇO, 2001).

Imagem 3: Execução da pintura de ligação ou imprimadura.



Fonte: Prefeitura municipal campestre da serra – Secretaria de Planejamento.

Até 24 horas após a conclusão da imprimadura não é permitido nenhum tráfego em nenhuma das etapas da pavimentação. A superfície imprimida recebendo uma camada de areia ou mistura de pedrisco e pó de pedra, é permitido o tráfego por um período de até um mês, porém antes da execução do revestimento asfáltico, é necessária uma nova camada de pintura ligante (SENÇO, 2001).

O revestimento usinado deverá ser transportado da usina até o ponto de aplicação, em veículos com caçambas metálicas basculantes cobertas com lonas enceradas, que descarregam a massa dentro da vibro acabadora, encarregada de espalhar na espessura e largura desejada, a uma temperatura mínima de 119° C.

Parte da compactação seguida de alisamento da massa é também realizada pela vibro acabadora, e a uma distancia de até 50 metros desta, se inicia a rolagem com rolo Tandem Liso, operada com a temperatura entre 60° e 110° C.

“Para evitar adesão da massa nas rodas do rolo metálico, estas deverão ser mantidas superficialmente úmidas, sem excesso de água” (SENÇO, 2001).

É recomendado utilizar rolo pneumático para a compactação final da camada com o objetivo de melhorar o selamento superficial

A imagem 4 nos mostra esse processo.

Imagem 4: Compactação do material com rolo vibratório liso tandem.



Fonte: Asfalto de qualidade (2016)

Na imagem 5, podemos observar a compactação com rolo de pneus, nessa imagem podemos visualizar a melhora no acabamento superficial na faixa compactada.

Imagem 5: Compactação do material com rolo de pneus.



Fonte: Asfalto de qualidade (2016)

4.6 PAVIMENTOS INTERTRAVADOS

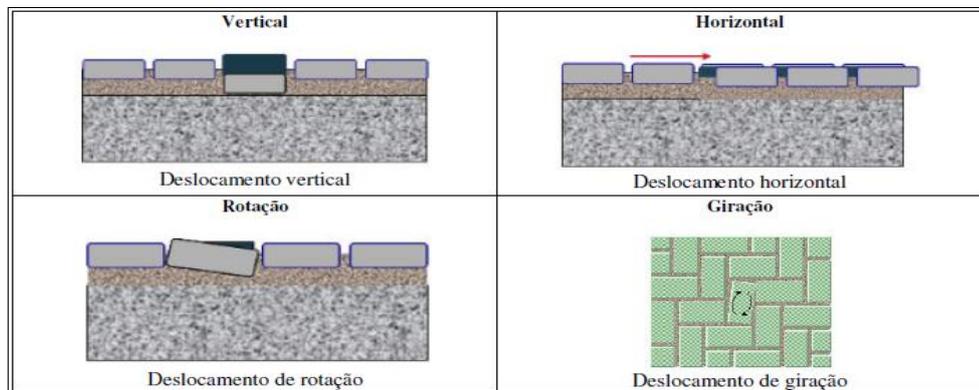
4.6.1 Conceitos e Generalidades de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto (*Pavers*)

O pavimento intertravado semi rígido apresenta como revestimento peças pré moldadas de concreto, e que tem como principal característica o intertravamento entre elas.

Esse intertravamento é a capacidade das peças de adquirirem, quando assentadas, uma resistência a movimentos e deslocamentos individuais, seja ele vertical, horizontal , de rotação ou de giro em relação a peças ao lado.

A figura 7, nos mostra o deslocamento resistido pelo intertravamento das peças mencionados acima.

Figura 7: Tipos de deslocamentos resistidos por intertravamento



Fonte: Original Blocos, 2009.

O pavimento intertravado deve obrigatoriamente possuir confinamentos que evitem o deslizamento e a perda do intertravamento dos blocos. A ABCP (2010) divide os confinamentos em dois tipos: os externos, que rodeiam o pavimento em seu perímetro (normalmente, sarjetas e meios-fios), e os internos, que rodeiam os elementos que se encontram dentro do pavimento (bocas-de-lobo, canaletas, jardins, etc.).

Ainda de acordo com a ABCP (2010), os confinamentos devem ser executados antes da camada de assentamento de maneira a formar uma caixa para a areia e os blocos. A condição ideal é que o confinamento seja de parede vertical no contato com os “*pavers*” e sejam firmes, de modo a não ocorrer desalinhamentos.

A camada de assentamento é a camada responsável por fornecer a regularidade final desejada ao pavimento. De acordo com Beaty (1992) *apud* Cruz (2003):

- No momento da compactação da peça pré-moldada de concreto, parte da areia do colchão deverá ser capaz de preencher as juntas na parte inferior das peças iniciando o processo de intertravamento;
- Fornecer um suporte homogêneo para as peças assentadas evitando a concentração de tensão em uma determinada área, que poderia causar deterioração ao pavimento;
- Fornecer uma superfície lisa onde as peças podem ser assentadas;
- Acomodar as possíveis diferenças de espessuras das peças e desníveis da base permitindo a regularização final do pavimento. (BEATY, 1992 *apud* CRUZ, 2003, p. 20)

Segundo Carvalho (1998), existe uma camada de areia, que é a camada de assentamento, contendo no máximo 5% de silte e argila (em massa) e, no máximo, 10% de material retido na peneira de 4,8 mm de abertura.

Carvalho (1998) ainda sugere que a espessura dessa camada, após essa compactação, possua entre 3 cm e 5 cm.

Fioriti (2007) recomenda que, após o nivelamento da camada, não haja circulação de pessoas, uma vez que toda irregularidade reflete-se na superfície de rolamento. Sendo assim, muitos dos defeitos prematuros dos pavimentos intertravados estão relacionados com má qualidade de execução da camada de assentamento.

Ainda segundo Carvalho (1998), a camada de rolamento é composta pelas peças pré-moldadas de concreto. A inserção das peças deve ser feita evitando-se o deslocamento das peças já assentadas, bem como irregularidades na camada de assentamento, de modo que a distância entre os blocos seja de 2 a 3 mm.

Logo em seguida, após o assentamento dos “*pavers*”, deve-se iniciar o adensamento das peças, a ser realizado com um compactador de placa vibratória, o qual deve ser aplicado até que seja obtida uma superfície nivelada.

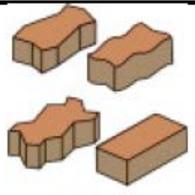
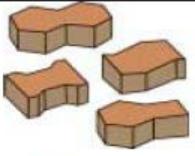
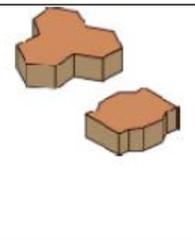
Realizada a compactação inicial, uma camada de areia fina deve ser espalhada sobre a superfície de blocos para a realização do rejuntamento. Recomenda-se a utilização de vassouras para facilitar a penetração da areia nas juntas, garantindo maior travamento dos blocos de concreto (GODINHO *et alii*,2002).

Após uma nova compactação, o pavimento pode ser liberado para o tráfego.

O pavimento de blocos de concreto tem sido cada vez mais utilizados, ficando os paralelepípedos e alvenaria poliédrica como sinônimo de um pavimento mais antigo, quase que não utilizados mais.

Os formatos mais comuns utilizados nos dias de hoje, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland (2002), são:

Tabela 3: Formato de blocos de concreto.

<ul style="list-style-type: none"> • Peças segmentadas ou retangulares, com relação comprimento/largura igual a 2 (usualmente 200mm de comprimento por 100mm de largura), que se entrelaçam nos quatro lados. Podem ser assentadas em fileiras ou em "espinha-de-peixe". São leves e podem ser carregadas facilmente com apenas uma mão. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Peças com tamanhos e proporções similares aos da categoria anterior, mas que se entrelaçam somente em dois lados. Só podem ser assentadas em fileiras. Também são leves, carregadas com apenas uma mão, e têm em geral o formato em "I". 	
<ul style="list-style-type: none"> • Peças de concreto com tamanhos maiores do que as categorias anteriores. Pelo seu peso e tamanho não podem ser carregadas com apenas uma mão. Têm formatos geométricos característicos (trapézios, hexágonos, triedros etc.). São assentadas seguindo-se sempre o mesmo padrão, que nem sempre conforma fileiras facilmente identificáveis. 	

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2002, P.84.

Uma importante vantagem dos blocos intertravados é o formato diferenciado, que confere propriedades estéticas ao pavimento, é possível adicionar pigmentos aos blocos, obtendo assim, blocos coloridos.

Esses pigmentos utilizam óxido de ferro, que é o responsável pela coloração do bloco.

Existem algumas normas em vigor no país, para se manter o controle de qualidade e processos desses blocos intertravados a serem utilizados em pavimentação:

- NBR 9781/87 – Peças de concreto para pavimentação.
- NBR 9780/87 – Peças de concreto para pavimentação – Resistência a compressão .
- DER /SP ET-DE-P00/48 – Pavimentação com blocos de concreto.

Existem algumas recomendações segundas essas normas citadas acima a serem levadas em consideração, as mais importantes recomendações são em relação a espessura, dimensional e resistência dos blocos:

- A variação de cada bloco deve ser de no máximo 5mm.
- Não apresentar dimensões superiores a 45cm nas suas direções ortogonais.
- São permitidas variações inferiores a 3mm para , quanto ao desempenho as faces.
- Em relação à resistência de compressão deve ser maior ou igual a 35MPa para solicitações de veículos comerciais e maior ou igual a 50MPa, para tráfego de veículos especiais.

A tabela 4 abaixo , nos exemplifica o mencionado acima.

Tabela 4: Pesos por metro quadrado e aplicações dos *pavers* comerciais..

Resistência à compressão					
35 MPa			50 MPa		
Espessura	Peso (kg/m ²)	Aplicação	Espessura	Peso (kg/m ²)	Aplicação
6 cm	120	Tráfego leve (pedestres em calçadas e automóveis em ruas internas de condomínios).	-	-	-
8 cm	162	Tráfego médio (caminhões de até três eixos em leito carroçável).	8 cm	175	Tráfego médio (caminhões de até três eixos em leito carroçável).
10 cm	202,50	Tráfego pesado (carretas e veículos especiais em pátios de descarga, postos de gasolina e terminais portuários).	10 cm	215	Tráfego pesado (carretas e veículos especiais em pátios de descarga, postos de gasolina e terminais portuários).

Fonte: Equipe de obra (2011)

Assim podemos perceber que esse tipo de pavimentação é muito versátil, sua aplicação pode ser utilizada em diversas destinações. Sendo então uma possível solução para a pavimentação urbana em locais aonde não se necessita de uma trafegabilidade em alta velocidade

4.7 OS ASPECTOS AMBIENTAIS DA PAVIMENTAÇÃO FLEXÍVEL E INTERTRAVADA

Existe uma enorme quantidade de questões importantes a serem tratadas, relativas à sustentabilidade ambiental, desde a produção, passando pela execução e manutenção dos pavimentos na literatura especializada no assunto.

Alguns dos pontos negativos da pavimentação flexível são:

- Danos ambientais provenientes de produção do revestimentos do pavimento;
- Danos ambientais provenientes da aplicação do revestimento do pavimento no solo;
- Danos ambientais provenientes da produção do principal material componente de cada revestimento.

Existem também os problemas de danos ambientais referentes à produção do revestimento. O fator considerável é a geração de resíduos no processo de refino do petróleo. Segundo Bernucci *et alii* (2007), este refino ocorre em intervalos de temperatura, nos quais são obtidos os derivados do petróleo (nafta, querosene, gasóleos) e somente após este processo é gerado o asfalto, o qual pode ser denominado resíduo deste processo

Existem legislações ambientais federais e estaduais para classificar as atividade de produção de revestimento. Estas legislações estabelecem o potencial poluidor segundo a atividade exercida e o porte de empreendimento.

Para uma análise federal, tem-se a classificação pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – Ibama, pela lei 10.165.

E para uma análise estadual, tem-se o Sistema Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (Sisema), que é formado pela Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), pelos conselhos estaduais de Política Ambiental (COPAM) e de Recursos Hídricos (CERH) e pelos órgãos

vinculados: Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), responsável pela qualidade ambiental no Estado, Instituto Estadual de Florestas (IEF).

Podemos ainda mencionar os danos ambientais provenientes da aplicação do pavimento no solo.

Para esses danos, foi observado que os principais problemas são relacionados a temperatura do micro clima urbano do local da implementação, que tende a aumentar consideravelmente com a absorção de calor pelos pavimentos e essa temperatura também depende do escoamento do solo e a velocidade desse escoamento, que dificulta a retenção da água.

Com a diminuição da retenção da água no solo, os lençóis de água são diretamente afetados, apresentando redução do seu volume de armazenamento.

Segundo Motta (2005), a permeabilidade do pavimento como a capacidade de um meio poroso em permitir a passagem de um líquido qualquer. No caso de pavimentos, o meio poroso a ser considerado pode se referir apenas à camada de revestimento ou a uma das camadas constituintes, chamada de camada drenante, ou ao pavimento como um todo, onde toda a estrutura do pavimento tem por objetivo escoar a água da superfície podendo ser chamado de pavimento drenante.

A explicação de Marchioni (2008) abaixo resume os problemas causados pela impermeabilização do solo:

Atualmente tem se verificado a crescente impermeabilização das superfícies resultante da urbanização das cidades. Em uma área com cobertura florestal, 95% da água da chuva se infiltra no solo, enquanto que nas áreas urbanas este percentual cai para apenas 5%. Com a drenagem da água através do solo, prejudicada devido às vias pavimentadas e o grande número de construções, o escoamento e o retorno ao lençol freático tornam-se mais difíceis, resultando em alterações nos leitos dos rios e dos canais e aumento no volume e constância das enchentes. (MARCHIONI, 2008)

Outro importante problema, é que devido a esta situação os sistemas de drenagem urbana não estão preparados para atender uma taxa de escoamento muito maior ao mesmo tempo, assim enchentes tornam-se recorrentes em várias cidades.

Na década de 1970, buscou-se o desenvolvimento da pavimentação intertravada, de modo que ela se tornasse aceitável na tecnologia tradicional de pavimentação. Essa tecnologia visava superfícies de rolamento impermeáveis, de

modo a manter as estruturas da base em estado seco e assim , assegurar a estabilidade do sistema.

Sendo assim, alguns fatores propiciam a um pavimento intertravado a característica de impermeabilidade:

- os blocos são fabricados com concretos mais densos e granulometrias contínuas, ou seja, com menores índices de vazios;
- as juntas são as menores possíveis e totalmente preenchidas com areia de selagem de granulometrias fechadas, de modo a garantir o maior nível de intertravamento dos blocos;
- selantes superficiais para os blocos e estabilizantes para a areia de rejuntamento reduzem a permeabilidade das unidades.

Ainda de acordo com a Revista Prisma (2005), ensaios realizados estabeleceram que a permeabilidade de um pavimento de blocos de concreto aumenta com sua idade e se reduz até chegar a níveis muito baixos ao longo dos primeiros 15 anos de serviço. Porém, não se pode considerar o pavimento intertravado impermeável, visto que sempre haverá um potencial de permeabilidade por meio das juntas. Projetado e construído adequadamente, sua permeabilidade poder vir a ser satisfatória e duradoura ao tempo.

Visando eliminar impactos tais como enchentes e o acúmulo de detritos nas superfícies das ruas, Marchioni (2011) apresenta como solução, na cartilha da ABCP “Melhores Práticas: Pavimento Intertravado Permeável”, um bloco de concreto poroso considerado permeável.

Este concreto é fabricado com agregados com poucos ou sem finos, formando espaços livres na sua estrutura que possibilitam a passagem do ar e da água. Ainda de acordo com Marchioni (2011), “estes pavimentos reduzem o escoamento superficial em até 100%, dependendo da intensidade da chuva, e retardam a chegada da água ao subleito reduzindo a erosão”. Ainda segundo Marchioni (2011), a estrutura dos pisos precisa ser executada com materiais de granulometria específicas que permitam o escoamento da água infiltrada para o solo ou para um sistema de drenagem.

Darcy em 1850, experimentalmente verificou como os diversos fatores influenciavam a vazão da água e, baseado em seus experimentos, estabeleceu a teoria

da permeabilidade para os solos. O fluxo de água é proporcional ao gradiente hidráulico e à área de uma amostra (PINTO, 2002):

$$Q = k.i.A \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

- Q = vazão;
- A = área do permeâmetro;
- i = gradiente hidráulico, que é a relação entre a carga que se dissipa na percolação (h) e a distância ao longo da qual a carga de água se dissipa (L).

A Lei de Darcy pode ser escrita de acordo com a Equação 2:

$$Q = k.A.h/L \quad (\text{Equação 2})$$

Porém, devido à resistência inferior, Marchioni (2011) recomenda a utilização dos pavimentos intertravados permeáveis apenas em vias de tráfego leve, as quais não são objeto de estudo deste trabalho.

A Tabela 5, nos mostra valores típicos de coeficientes de permeabilidade de alguns tipos de solos.

Tabela 5: Valores típicos de coeficientes de permeabilidade de alguns tipos de solos.

Tipos de Solos	Coeficiente de Permeabilidade (cm/s)
Argila	$< 10^{-9}$
Silte	10^{-6} a 10^{-9}
Areias argilosas	10^{-7}
Areias finas	10^{-5}
Areias médias	10^{-4}

Fonte: Pinto (2002)

Segundo COOLLEY (1999) e BROWN *et al.* (2004), diversos fatores foram identificados e podem afetar a drenabilidade de pavimentos asfálticos. Entre eles, os mais importantes são:

- Distribuição granulométrica e formato dos agregados;
- Composição molecular do ligante asfáltico;
- Vazios de ar no interior das camadas;
- Grau de saturação;
- Tipo de fluxo;
- Temperatura.

Um importante fator desse tipo de pavimentação é a vantagem da coloração clara do concreto está no fato da maior capacidade de reflexão de luz, conseqüentemente uma grande melhora na visibilidade dos motoristas, principalmente em dias chuvosos e a noite.

A grande capacidade de reflexão de luz de pavimentos em concreto transforma-se em economia de iluminação pública. Conforme pesquisa feita na Argentina verifica-se uma redução de consumo energético de 5,35 kWh/m² para 3,35 kWh/m².

Como podemos ver na figura abaixo.

Figura 8: Exemplo da diferença de iluminação do pavimento de concreto para o asfáltico.



Fonte: Lyceu online (2016)

4.8 CONSIDERAÇÕES ECONÔMICAS, CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO E CUSTOS DE MANUTENÇÃO ENTRE PAVIMENTAÇÃO FLEXÍVEL E INTERTRAVADA.

Define-se manutenção como sendo um conjunto de atividades a serem realizadas com o objetivo de prevenir e reparar os defeitos.

A manutenção de pavimentos deve ser realizada rotineiramente com uma data periódica, sempre evitando a necessidade de reforços estruturais ou a reconstrução do mesmo, pois os custos com manutenção crescem exponencialmente com o grau de degradação dos pavimentos. Sendo realizada a manutenção preventiva e corretiva do pavimento em até a utilização de 75% da sua vida útil, temos um custo reduzido de 10 vezes, se comparado à reconstrução do mesmo.

Os principais problemas relacionados a manutenção e conservação dos pavimentos são:

- Defeitos e degradações superficiais: Aparecimento de fissuras (trincas), desagregação (panelas), manchas d'água (umidade excessiva) e desgastes;
- Deformações e perfil: Trilhas de rodas, afundamento, ondulação e depressão.

Existe uma norma que trata desses defeitos, a norma DNIT 005/2003 trata da classificação dos defeitos nos pavimentos asfálticos. Os defeitos aparecem devido à associação de fatores, como o tráfego, as condições ambientais e o modo de execução dos revestimentos.

Quando às degradações e defeitos superficiais, as trincas são os defeitos mais comuns e são responsáveis pelo agravamento das condições do pavimento, visto que elas permitem a passagem de água e assim dão origem à perda de estrutura do pavimento. As trincas mais comum são:

- Por fadiga: Ocorre como resultado de efeitos cumulativos do carregamento sucessivo e tem a forma “couro de jacaré”.
- Por envelhecimento: Ocorre quando o ligante betuminoso não suporta mais as deformações provenientes das mudanças de temperatura que ocorrem ao longo do dia. Possui formato irregular e espaçamento maior que 0,5mm entre elas.
- Por reflexão: Ocorre quando há um trincamento existente na camada inferior e ele se propaga para o revestimento. As trincas podem se apresentar de variadas formas: longitudinais, irregular ou interligadas.
- Por variação de temperatura: Ocorre devido a variação térmica, formando trincas longitudinais ou transversais.

As degradações podem ser definidas como a perda do agregado superficial, e tem como causa a fratura mecânica do filme do ligante ou a perda de adesão entre o ligante e agregado.

A tabela 6 abaixo nos exemplifica os defeitos mencionados acima:

Tabela 6: Quadro de diagnóstico – “The feverchart”

Tipo do defeito	Causa provável	Tratamento
Falhas da borda	Espessura insuficiente da capa, cargas excessivas, falta de suporte do acostamento, saturação da base, geralmente devida a acostamento alto, que impede a drenagem.	Verifique drenagem e limpe valetas. Verifique a permeabilidade do acostamento e, se o mesmo estiver alto, nivele-o com a borda do pavimento e compacte-o. Encha as trincas e sele a borda externa.
Superfície gasta	Asfalto insuficiente ou superaquecimento do asfalto (se for misturado em usina), idade do pavimento ou agregados porosos.	Pulverização com emulsão asfáltica diluída, de ruptura lenta (SS-1 ou SS1h) na base de 0,45 litro por metro quadrado; se existirem áreas com perda de material, necessitando enchimento, use lama asfáltica ou uma capa selante convencional.
Panelas	Qualquer das causas citadas aqui levam ao aparecimento de buracos; também a infiltração de água, base instável, deficiência de asfalto para manter a liga, mistura aberta ou segregada.	Corte o buraco em forma retangular, tornando as faces quase verticais; reponha o material de base perdido, se necessário; pulverize ligeiramente a cavidade com asfalto diluído, encha com pré-misturado, compactando até uma altura que permita compactação adicional pelo tráfego; finalmente, sele com 0,4 a 1,1 litro de asfalto, e 5,5 a 13,5 quilos de agregado por metro quadrado. Pode-se usar também remendo de penetração.
Trincas (couro de jacaré)	Saturação de base, falta de suporte de base, ou espessura insuficiente da capa.	Verifique e corrija falhas de drenagem; aplique camada fina de asfalto líquido com cobertura de agregados minerais nas proporções dadas acima. (se preciso, repita o tratamento para conseguir o reforço necessário.) algumas vezes é indicado executar um remendo.
Exsudação e instabilidade	Um excesso de asfalto, mudando seu caráter de elemento de ligação para lubrificante, ou presença de grande quantidade de silte ou argila na capa, com cascalho arredondado necessitando de interligação. Muitas vezes, a umidade acumulada sob a capa destrói a ligação e o tráfego calca o pavimento para formar ondas ou saliências.	Escarifique, remisture e reespalhe, adicionando areia, se houver excesso de asfalto; onde a causa for base fraca e/ou drenagem pobre, a falha subsuperficial deve ser corrigida em primeiro lugar. Algumas vezes, a ondulação pode ser corrigida pela raspagem com lamina, remendo e capa selante.
Desagregação de superfície	Falta de asfalto ou mistura superaquecida.	Aplique material betuminoso pulverizado, capa selante normal com cobertura mineral, ou lama asfáltica, como julgar melhor.
Saturação de base	Água parada nos drenos laterais, valetas ou bueiros com vazamento, ou qualquer outra situação que retém a umidade abaixo da superfície. Porcentagem muito alta de finos, ou presença de finos plásticos na base.	Limpe as valetas de drenagem ou melhore a drenagem.
Trincas longitudinais e transversais	Contração ou movimento do subgreide.	Enchimento de trincas e selamento.
Ondulação e depressão	Compactação inadequada do subgreide ou base.	Nivelamento local e remendo de superfície.

Fonte: SENÇO, W. (2001, p. 448)

As obras de drenagem necessitam de maior atenção.

No caso da drenagem superficial, toda plataforma deve ser mantida em condições de escoamento das águas, transversal e longitudinalmente, incluindo-se as bocas-de-lobo e outros captadores. Os bueiros e galerias devem ser mantidos desobstruídos, se necessário, com a

constituição de turmas especiais para agirem no início das grandes chuvas, caso haja risco de entupimento de suas entradas e saídas.

A drenagem subterrânea nem sempre tem os serviços de conservação enquadrados como rotineiros, mas mesmo assim cabe sempre vistoria nas áreas onde os bueiros estão localizados. (SENÇO, 2001).

Em contra partida podemos observar os custos de implementação do projeto para a pavimentação intertravada, assim como o custo de recuperação dos pavimentos das vias urbanas, derivados do estudo de Paiva e Pedrazzi e adaptados para este trabalho, serão mostrados na tabela 9 abaixo.

Tabela 7 : Custos de construção, conservação e recuperação de vias com pavimento asfáltico e intertravados.

ESTUDO ECONÔMICO DA CONSTRUÇÃO, CONSERVAÇÃO E RECUPERAÇÃO DAS VIAS URBANAS				
Cenário	Tipo de Pavimentação	Custo em R\$/m ²		
		Intervenção		
		Construção	Paliativa	Definitiva
1	CBUQ	60,98	9,1	51,2
2	Intertravado (8cm)	69,32	0	0

Fonte: Adaptado de PAIVA;PEDRAZZI, 2006

Os custos de construção tem por base a Tabela de Preços do DER-SP do ano de 2016, e os custos de intervenção são retirados dos estudos de Paiva e Pedrazzi, de 2006.

As intervenções construtivas considerada como paliativas foram operações de tapa buracos, e as definitivas foram operações de execução de reforço estrutural em tratamento duplo ou concreto asfáltico, e os custos unitários dos serviços empregados foram retirados do estudo de Paiva e Pedrazzi (2006), e atualizados para 2016 segundo o Índice da Fundação Getúlio Vargas denominado Conservação Rodoviária, que é publicado mensalmente na revista informador das construções.

Considerou-se nesse estudo que o processo de intervenção foi adotada como sendo de 2 anos para soluções paliativas e de 10 anos para soluções definitivas, dentro de um período de projeto de 20 anos do pavimento.

Na tabela 8, podemos observar que os custos de intervenção foram desprezados, pois considera-se um projeto elaborado segundo os procedimentos preconizados pelo

método de dimensionamento atual, e a aplicação de um método construtivo adequado durante a construção do pavimento urbano faz com que esta hipótese seja plausível.

Considerando para o pavimento CBUQ um período de 14 anos, tem-se a comparação levando em conta dois cenários.

O primeiro cenário do pavimento betuminoso é a intervenção paliativa no pavimento após 8 anos de serviço e posteriormente novas intervenções do mesmo tipo de 2 em 2 anos.

O segundo cenário é a intervenção definitiva no pavimento betuminoso após 10 anos e posteriormente 14 anos de serviço.

Nesses dois cenários o pavimento intertravado é considerado sem valor relevante de custo de manutenção.

Tabela 8 : Custos ao longo dos anos período de 2016 à 2030.

		2016		2024	2026	2028	2030
CENARIO	TIPO	CC	IP	CC+IP	CC+IP	CC+IP	CC+IP
1	CBUQ	60,98	9,1	112,32	125,52	138,72	151,92
					CC+ID		CC+ID
2	CBUQ	60,98	51,2		195,22		195,22

Fonte: Adaptado de PAIVA;PEDRAZZI, 2006

CC = Custos de Construção

IP = Intervenção Paliativa

ID = Intervenção Definitiva

Esse comparativo nos permite ter uma base em relação aos custos de manutenção das duas formas de pavimentação estudadas nesse trabalho.

De acordo com Muller (2005), as irregularidades nos pavimentos intertravados podem ter origem quando:

- O processo construtivo é mal executado;
- O tráfego de veículos é maior do que aquele para o qual o pavimento foi projetado;
- Quando as variações climáticas interferem nas propriedades dos materiais utilizados.

Segundo Carvalho (1998), os pavimentos de blocos intertravados podem apresentar problemas superficiais, que não exigem reforço estrutural, como a quebra de peças e falhas no rejuntamento. Quando isso ocorre, exige-se apenas a troca das peças e a re-execução do rejuntamento. As peças são intertravadas, assim sendo, a retirada torna-se difícil, sendo às vezes necessária a quebra de algumas delas. Como vantagem, o autor apresenta a possibilidade de reaproveitamento de algumas peças, quando estas são tratadas por meio de raspagem e uso de substâncias apropriadas. A manutenção estrutural é exigida em pavimentos intertravados quando ocorre a perda do suporte da fundação. Nestes casos, além da troca e rejuntamento dos *pavers*, é necessária a reconstrução das camadas inferiores.

4.9 COMPARAÇÃO DOS EFEITOS SONOROS ENTRE OS PAVIMENTOS INTERTRAVADOS E ASFÁLTICOS

Uma importante consideração a ser feita em relação aos pavimentos intertravados e asfálticos é a diferença sonora causada por eles. Com o projeto já implementado nas cidades essa diferença sonora é uma característica muito importante a ser levada, tanto nas cidades, quanto em regiões onde esse efeito sonoro pode causar sérios impactos ambientais.

Em um estudo realizado por Denise Barroso em sua tese de mestrado em engenharia urbana (2011), nos permite diferenciar os efeitos sonoros dos dois tipos de pavimentação citados ao longo desse trabalho.

Para esse experimento foi utilizado um decibelímetro tipo TES 1350 A,

Figura 9: Decibelímetro do tipo TES 1350 A.



Fonte: BALBO (2007)

Foi realizado a medição em um dia que corresponde à um feriado nacional , com o intuito de se obter o mínimo possível de ruído de fundo e conseguir isolar mais adequadamente o ruído dos pavimentos analisados. O horário de realização do experimento foi das 17h às 18h.

Os automóveis escolhidos para o teste: um veículo Civic ano 2009 da marca Honda com pneus novos e um veículo Gol Power, ano 2008 da marca Volkswagen com pneus novos.

O decibelímetro foi colocado na escala de medição de ruído mais baixa, de 35DB a 100DB.

Foram colocados três pontos para cada tipo de pavimento, de 50 em 50 metros, e foi medido o ruído ao passar pelo ponto central entre 50 metros a 30 Km/h e a 45Km/h.

Este procedimento foi repetido para cada via.

Foram também medidos no mesmo dia , o ruído de cada veículo em marcha lenta, e após a realização das medições descritas acima, a passagem de 30 veículos pela via, no encontro dos dois tipos de pavimento, com o objetivo de medir o ruído da passagem natural do tráfego.

Resultados Obtidos:

O resultado da medição por decibelímetro, em dB (A), está representado na tabela 10:

Tabela 11: Resultado da medição por decibelímetro.

TIPO DE PAVIMENTO								Ruídos (Decibéis)		
Intertravados				Betuminoso						
Civic*	Civic**	Gol*	Gol**	Civic*	Civic**	Gol*	Gol**	Ruído de Fundo	RF+Ruído motor Civic	RF+Ruído motor Gol
54	57	57	61	51	54	56	58	39	49	55

Fonte: BALBO (2007)

*= 30Km/h

**= 45Km/h

RF= Ruído de fundo

A medição do ruído é resultado de quatro parcelas: ruído de fundo, ruído do motor, ruído do pavimento e ruído aleatório.

A parcela de som correspondente à reverberação do som não foi levada em consideração porque os ambientes escolhidos não apresentavam obstáculos nem anteparos.

A maior parcela de medição corresponde ao ruído de fundo, seguida pela parcela do ruído do motor, e por fim, o ruído do pavimento apresenta uma parcela que pode variar de 1 a 10% da medição.

Quanto à comparação do ruído entre os pavimentos intertravados e betuminosos, tem-se que há uma diferença de valores significativa. Em geral o ruído proveniente do pavimento intertravado é 41,75% maior que o proveniente do CBUQ na velocidade de 30Km/h e 33,49% maior na velocidade de 45Km/h, considerando as médias encontradas para os dois tipos de veículos utilizados para os testes.

Estes números variam conforme o desgaste dos pavimentos.

5.MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 METODOLOGIA

Após uma análise detalhada das características dos pavimentos realizada neste trabalho, podemos obter algumas conclusões a respeito da diferença entre o pavimento flexível ou pavimento asfáltico e o pavimento de blocos de concreto intertravado.

A análise das diferentes vertentes abordada nos capítulos anteriores nos permite diferenciar a aplicabilidade de cada um dos métodos de pavimentação estudados nesse trabalho.

Assim, com o estudo realizado sobre a função da pavimentação e das camadas que compõem um pavimento, demos início a um aprofundamento dentro de cada tipo de pavimentação. No que se diz respeito a pavimentação flexível, realizamos um estudo nos tipos de pavimentos flexíveis, no dimensionamento do mesmo, na execução de implementação dos projetos, na manutenção e conservação e nos aspectos ambientais. Essa mesma revisão bibliográfica foi feita para os pavimentos de concreto intertravado.

6. CONCLUSÕES FINAIS

Nesse capítulo iremos abordar as conclusões finais obtidas desse trabalho, referente a análise e avaliação da adequabilidade da utilização e da implementação de pavimentos flexíveis e blocos intertravados nas vias públicas, considerando facilidades na implementação, manutenção, aspectos ambientais e trafegabilidade.

Do capítulo 4.6.1 que trata de Conceitos e Generalidades de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto (*pavers*), podemos concluir que:

- Os blocos intertravados de concreto são soluções para pavimentações urbanas e que podemos utilizar em conjuntos, cada uma com sua destinação para melhor aplicação.
- Outro aspecto importante a ser mencionado, é a falta de fornecedores que produzem blocos de concreto, de acordo com os parâmetros normatizados impede que este material seja utilizado em larga escala na pavimentação de ruas.

Dos capítulos 4.5.4 que trata da Manutenção e Conservação de Pavimentos Flexíveis e do capítulo 4.8 aonde abordamos algumas considerações sobre a manutenção dos pavimentos, podemos concluir que:

- Em locais de vias coletoras, a qualidade do pavimento asfalto é insatisfatória, pois existe a necessidade constante de reparos por motivos de má execução. Assim sendo, podemos concluir que os *pavers* seria uma solução, pois os *pavers* induzem o motorista a dirigir em uma velocidade máxima menor para se manter o conforto do efeito da trepidação.
- Para vias onde os motoristas trafegam em uma velocidade máxima mais elevada, recomenda-se a pavimentação asfáltica, diminuindo a trepidação no veículo e assim, diminuindo gastos com manutenção do mesmo.

No capítulo 4.7 onde abordamos os Aspectos Ambientais da Pavimentação Flexível e Intertravada em conjunto com o capítulo 4.9 onde comparamos os efeitos sonoros entre os pavimentos intertravados e asfálticos, podemos concluir:

- Que observando os aspectos ambientais, a manta asfáltica seria uma opção, pois a mesma utiliza resíduo de refino de petróleo. Apesar dos blocos de concreto possuírem a capacidade de reciclagem e não necessitarem de produção obrigatória, aja vista a exigência de outros materiais que já exercem a função de pavimentação.
- Outro ponto importante a ser lembrado em relação a aspecto ambiental, é a permeabilidade do pavimento e as diferenças de sonoridade entre os dois tipos de pavimentação estudadas nesse trabalho. Quando comparado ao asfalto, os blocos de concreto possuem a capacidade de absorver água , devido as suas juntas, mas possuem uma pequena diferença de sonoridade.

No capítulo 4.8 realizamos considerações econômicas, sobre custos de implementação e custos de manutenção entre pavimentos flexíveis e intertravados, deste capítulo concluímos que:

- Um outro ponto importante a ser exaltado nessa conclusão é a diferença de custos entre a implementação e manutenção dos dois tipos de pavimentação.

Do capítulo 4.1 que abordamos o histórico da pavimentação fica clara a seguinte conclusão:

- É importante comentar também os aspectos culturais. No Brasil, uma técnica consolidada é a técnica do concreto asfáltico. Assim, mesmo com suas vantagens, o bloco de concreto intertravado não é visto como uma alternativa, pois à postura de governantes e da população é muito conservadora.
- Outro aspecto importante a ser mencionado, é a falta de fornecedores que produzem blocos de concreto, de acordo com os parâmetros normatizados impede que este material seja utilizado em larga escala na pavimentação de ruas.

REFERÊNCIAS

- ABEDA- Associação brasileira das empresas distribuidoras de asfalto. **Manual básico de emulsões asfálticas**: soluções para pavimentar sua cidade. Brasil, 2001.
- AIKMAN, E. **Engineering brief n. 23**: graded asphalt emulsion mixes. Disponível em: <<http://www.faa.gov/arp/engineering/briefs/eb23.htm>>. Acesso em: 29 abr. 2016.
- ASPHALT INSTITUTE. **The asphalt handbook manual**. USA, 1989. p.43. Series n.4
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTOS PORTLAND. **PR 01**: pavimentos intertravados: preparo da fundação, São Paulo, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTOS PORTLAND. **PR 02**: Pavimentos intertravados: práticas recomendadas, São Paulo, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9895**: Solo – Índice de Suporte Califórnia. Rio de Janeiro, 1987.
- BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BAPTISTA, Cyro Nogueira. **Pavimentação**. 2 ed. Porto Alegre: Editora Globo, 1976, v.3.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. da; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Gráfica Minister, 2007.
- BROSSEAUD, Y. Revestimentos asfálticos franceses: panorama das técnicas, balanço de comportamento. In: ENCONTRO DO ASFALTO, 16., 2002. Rio de Janeiro, 2002, **Anais...** Rio de Janeiro, IBP, 2002.
- BROWN, E. R.; HAININ, M. R.; COOLEY, A.; HURLEY, G. **Relationship of air voids, lift thickness, and permeability in hot mix asphalt pavements**. Alabama: National Cooperative Highway Research Program, 2004.
- CAMARANO, A. A.; BELTRÃO, K. I. **Distribuição espacial da população brasileira**: mudanças na segunda metade deste século. Texto para discussão n. 766, IPEA: Rio de Janeiro, 2000. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br>>. Acesso em: 20 mar. 2016.
- CARVALHO, M. D. de. **Pavimentação com peças pré-moldadas de concreto**. 4. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland, 1998.

COOLEY, L. A. Permeability of superpave mixtures: evaluation of field permeameters. **NCAT Report**, n. 99-1, Auburn, Alabama, 1999.

CORINI, F. **Scienza e técnica delle costruzioni stradali e ferroviarie**. Milano: Editore Ulrico Hoepli, 1947.

CRUZ, L. O. M.. **Pavimento intertravado de concreto**: estudo dos elementos e métodos de dimensionamento. 2003. 281f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2003.

DNIT- Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de pavimentação**. 3.ed. Rio de Janeiro, 2006.

FIORITTI, C. F. **Pavimentos intertravados de concreto utilizando resíduos de pneu como material alternativo**. 2007. 218f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GODINHO, D. P.; GROSSI, L. C.. **Como construir pavimentos de concreto intertravados**. Disponível em: <http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/pavimentos-de-concreto-intertravados-80764-1.asp>. Acesso em: 18 fev. 2016..

JÚNIOR, F. A. **Manual de pavimentação urbana**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1992.

LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES – LCPC **Les enduits superficiels et les routes économiques**. France, 1989.

MACIEL, A. B. **Dossiê técnico**: pavimentos intertravados. Santa Rosa: SENAI Virgílio Lunardi, 2007.

MARCHIONI, M.S; **Pavimento intertravado permeável**: melhores práticas. Associação Brasileira de Cimento Portland, 2011.

MOTTA, L. M. G. **Comunicação Pessoal**. Rio de Janeiro: Editora, 2005.

MULLER, R. M. **Avaliação de transmissão de esforços em pavimentos intertravados de blocos de concreto**. 234f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005

ORIGINAL BLOCOS. **Pavimentos intertravados**. Disponível em: http://www.originalblocos.com.br/pag_suporte_info_pav.asp. Acesso em: 16 fev. 2016.

PAIVA, C. E. L; PEDRAZZI, T. B. Comparação econômica entre procedimentos construtivos de manutenção rodoviário. In: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE

PAVIMENTOS: POLÍTICAS E TECNOLÓGICAS, 5., 2006, Recife. **Anais...** Recife, 2006.

PINTO, C. de S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

POTTI, J.J; LESUEUR, D. E ECKMANN, B. Towards a rational mix design method for cold bituminous mixes: the optel contribution. **Revue Générale des Routes et des Aérodrômes**, France, n.11048, 2002.

PREGO, A.S.S. **A memória da pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2001.

MARCHIONI, M.L. Pavimentos intertravados, conceitos e requisitos para pavimento intertravado permeável. **Revista Prisma**, v. 58, ago. 2015. Disponível em: <http://www.revistaprisma.com.br/novosite/noticia.asp?cod=5709>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

SANTANA, H. **Manual de Pré-misturado a Frio**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo (IBP), 1993.

SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: Editora Pini, 2001, v. 2.

SERFASS, J.P. Advantages, peculiarities and mysteries of cold mixes. **European Roads Review**, France, 2002. (Special Issue).

SIURB/PMSP. **Dimensionamento de pavimentos flexíveis para tráfego: instrução geotécnica**. São Paulo: SIURB/PMSP, 2004.

SHATNAWI, S. ; HOLLERAN, G. **Asphalt Rubber Maintenance Treatments in California**. In Proceedings of the Asphalt Rubber Conference p.36 a 47. Brasil, 2003.

TRIPADVISOR. **Pavimento de pé de moleque situado entre as cidades de Paraty-RJ e as cidades de Minas Gerais**. Disponível em: <<http://www.tripadvisor.com.br>>. Acesso em: 16 fev 2016a.

TRIPADVISOR. **Rua de pavimento de pé de moleque, localizada em Paraty-RJ**. Disponível em: <<http://www.tripadvisor.com.br>>. Acesso em: 16 fev 2016b.

SMITH, D. R. **Recent skid resistance evaluation of concrete block paving in north america**”, Sixth international concrete block paving conference, pp. 473-482, Tokyo, Japan, 2000

THANAYA, I. N.A. **An alternative design procedure of cold asphalt mixture**. Disponível em: <<http://www.bibcouncil.de/ISSM2002/Proceedings/paperPDF/e01.pdf>>. Acesso em: 22 jul. 2016.