

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MÚCIO MIRANDA DE AZEVEDO

**REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTUDO
COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO E
PAVIMENTO INTERTRAVADO PERMEÁVEL**

NATAL/RN

2018

MÚCIO MIRANDA DE AZEVEDO

**REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTUDO
COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO E
PAVIMENTO INTERTRAVADO PERMEÁVEL**

Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil, apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M. Sc. Aldo da Fonseca Tinoco Filho.

NATAL/RN
2018

Catálogo na Publicação – Biblioteca do UNI-RN
Setor de Processos Técnicos

Azevedo, Múcio Miranda de.

Redução do escoamento superficial de águas pluviais: estudo comparativo entre pavimento intertravado de concreto e pavimento intertravado permeável. / Múcio Miranda de Azevedo. – Natal, 2018.
52f.

Orientador: Prof. M.Sc. Aldo da Fonseca Tinoco Filho.

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário do Rio Grande do Norte.

1. Escoamento superficial – Monografia. 2. Pavimento intertravado de concreto – Monografia. 3. Pavimento intertravado permeável – Monografia.
I. Tinoco Filho, Aldo da Fonseca. II. Título.

RN/UNI-RN/BC

CDU 624

MÚCIO MIRANDA DE AZEVEDO

**REDUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTUDO
COMPARATIVO ENTRE PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO E
PAVIMENTO INTERTRAVADO PERMEÁVEL**

Trabalho de Conclusão do Curso de
Engenharia Civil, apresentado ao Centro
Universitário do Rio Grande do Norte
(UNI-RN) como requisito para obtenção
do título de Bacharel em Engenharia Civil

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. M. Sc. Aldo da Fonseca Tinoco Filho
Orientador

Prof. Msc. Isabelly Bezerra Braga Gomes de Medeiros
Membro Externo

Prof. Dr. Werner Farkatt Tabosa
Coordenador de TCC

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que participaram direta ou indiretamente na realização do meu TCC e graduação, especialmente aos meus pais, irmãos, amigos e minha namorada, que foram fundamentais nesse processo.

Agradeço também a todos os mestres, em especial ao meu orientador, Aldo Tinoco, e colegas de faculdade, os quais conviveram e compartilharam alegrias, tristezas e desespero durante os 5 anos de curso.

Não posso esquecer-me de agradecer aos que estão lá em cima, que foram tão importantes quanto, e sem a proteção e benção deles, nada seria possível.

“Toda ação humana, que se torne positiva ou negativa, precisa depender da motivação”.

(Dalai Lama)

RESUMO

A impermeabilização do solo decorrente da ocupação urbana altera o ciclo hidrológico resultando em aumento de enchentes e da degradação da qualidade das águas pluviais. Neste contexto, a pavimentação de ruas, calçadas, praças, entre outros, precisa ser bem planejada para que possa oferecer o escoamento adequado, evitando-se danos indesejáveis. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo principal comparar, o uso do pavimento intertravado de concreto com o pavimento intertravado permeável, observando-se qual deles oferece o menor escoamento superficial de águas pluviais. Para tanto, foi realizado um estudo de caso comparando-se os pavimentos intertravados de bloco de concreto aplicado em um condomínio urbanístico localizado no litoral do Rio Grando do Norte, Praia de Jacumã com o bloco vazado de concreto, com relação à redução do volume de água referente ao escoamento superficial e, por consequência, o seu impacto na solicitação do sistema de drenagem urbana pela redução da vazão do pico. Assim sendo, através dos resultados do estudo, pode-se concluir que o pavimento utilizado no condomínio estudado não demonstrou eficiência no quesito de infiltração/redução do escoamento superficial, pois sua vazão de pico foi praticamente a mesma no pavimento de CBUQ-Concreto betumuniso usinado a quente. Enquanto que se tivessem utilizados blocos vazados de concreto poderia ter gerado uma redução na formula do método racional da vazão, e consequentemente uma redução no dimensionamento do sistema de drenagem.

Palavras-chave: Escoamento Superficial. Intertravado. Pavimento Intertravado Permeável.

ABSTRACT

Soil proofing due to urban occupation changes the hydrological cycle resulting in increased flooding and the deterioration of rainwater quality. In this context, the paving of streets, sidewalks, squares, among others, needs to be well planned so that it can offer adequate runoff, avoiding unwanted damage. Thus, this work was intended as the main objective to compare, the use of the concrete interlocked pavement with the permeable interlocked pavement, observing which one offers the smallest superficial runoff of rainwater. For this, a case study was carried out by comparison of the interlocked concrete block pavements applied in an urban condominium located on the coast of the Rio grande do Norte, Jacumã Beach with the concrete block, with respect to the reduction of the Volume of water on the surface runoff and, consequently, its impact on the application of the urban drainage system by reducing peak flow. Thus, through the results of the study, it can be concluded that the pavement used in the studied condominium did not demonstrate efficiency in the case of infiltration/reduction of the superficial runoff, because its peak flow was practically the same on the pavement From CBUQ. Whereas if they had used concrete leaked blocks it could have generated a reduction in the formula of the rational method of flow, and consequently a reduction in the scaling of the drainage system.

Keywords: Shallow Runoff. Concrete Interlocked Pavement. Permeable Interlocked Pavement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Intensidade da chuva <i>versus</i> capacidade de infiltração	18
Figura 2 – Erosão causada por escoamento superficial.....	18
Figura 3 – Movimento de deslocamento das peças	19
Figura 4 – Camadas do pavimento permeável.....	23
Figura 5 – Pavimento permeável com grama.....	23
Figura 6 – Sistema de infiltração total	24
Figura 7 – Sistema de infiltração parcial	25
Figura 8 – Pavimentos de asfalto poroso	26
Figura 9 – Pavimento de concreto poroso.....	27
Figura 10 – Pavimento de bloco de concreto vazado.....	28
Figura 11 – Pavimento de bloco de concreto e paralelepípedo	28
Figura 12 – Pavimento poroso em asfalto (1), pavimento poroso em concreto (2), pavimento permeável com blocos pré-moldado de concreto (3)	34
Figura 13 – Imagem aérea do condomínio	39
Figura 14 – Visão geral do pavimento intertravado	40
Quadro 1 – Ensaio de compressão	42
Figura 15 – Vertedouro	44
Figura 16 – Galeria.....	44
Figura 17 – Interior da galeria	45
Figura 18 – Superfície de acumulação.....	46
Quadro 2 – Valores do coeficiente (C)	47
Quadro 3 – Intensidade, duração, frequência	47
Quadro 4 – Resultado da medição da área total	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 JUSTIFICATIVA	12
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
1.3 METODOLOGIA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL	17
2.2 PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO	19
2.2.1 Permeabilidade	21
2.3 PAVIMENTO INTERTRAVADO PERMEÁVEL	22
2.3.1 Tipo de Pavimento Permeável	24
2.3.2 Vantagens, Desvantagens e Restrições	29
2.3.3 Pavimento Permeável e o Controle do Escoamento Superficial	30
2.3.4 Critérios de Projeto e Dimensionamento	30
2.3.5 Sequência Executiva de Blocos Intertravados	35
2.3.6 Implantação dos Pavimentos Permeáveis em Outros Países	36
2.4 LEGISLAÇÃO	38
3 ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO	39
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO	39
3.2 PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO	39
3.3 PROJETO DE DRENAGEM	43
3.4 MEMORIAL DE CÁLCULO	46
3.5 PARECER FINAL	48
4 CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

No processo de urbanização, na busca por uma melhor qualidade de vida, as pessoas passaram a sair da zona rural e se instalarem em áreas urbanas, dando origem ao crescimento acelerado das cidades, onde as áreas naturais cobertas por vegetação vêm desaparecendo, alterando o ciclo hidrológico, tornando-se um problema para o manejo das águas pluviais na medida em que vem provocando aumento nos deflúvios superficiais, com inundações e degradação da qualidade da água.

Com relação a esse aspecto quantitativo, o processo de transição do meio rural para o meio urbano deve ser bem planejado e levar em consideração diversos fatores, entre eles o manejo das águas pluviais e a drenagem urbana.

Para uma solução mais adequada do problema, é necessária a intervenção do poder público através da regulamentação e planejamento através do Plano Diretor de Drenagem Urbana (TUCCI, 2002). Entretanto, não foi isso que aconteceu durante vários anos. As cidades foram se formando de forma acelerada e desordenada, dando origem a regiões urbanas altamente impermeabilizadas, causando sérios problemas de inundação urbana e sendo responsável por 50% do total de vítimas de catástrofes naturais no mundo, entre 1966 e 1990 (CHOCAT, 1997).

No que se refere ao aspecto quantitativo, no desenvolvimento urbano tem-se vários estágios que produzem material sólido, tais como: os sedimentos são transportados pelos rios; na medida que ocorre modificação da cobertura da bacia há aumento da erosão no período chuvoso (loteamento sendo implantado, ruas sem pavimento, erosão decorrente do aumento de velocidade do escoamento a montante por áreas urbanizadas); com novas construções existe movimentação de terra somada aos resíduos sólidos pela população já estabelecida; quando toda a superfície urbana está consolidada temos ainda a produção de sedimentos provocado pelas áreas não impermeabilizadas somada a produção de lixo que atinge o seu máximo com a densificação urbana.

É necessário ter a eficiência dos serviços de limpeza pública e manejo dos resíduos sólidos como a frequência e cobertura da coleta de lixo, frequência da limpeza das ruas, reciclagem, forma de disposição do lixo pela população concomitante ao manejo das águas pluviais.

As inundações resultantes da urbanização que ocorrem por conta da impermeabilização podem ser agravadas pelos transportes dos sedimentos, seja obstruindo áreas de infiltração ou mesmo o próprio sistema de bocas de lobo, ou galerias, sendo carregados para os reservatórios de retenção de águas pluviais.

Essa quantidade de material suspenso na drenagem urbana apresenta uma carga muito alta onde os primeiros 25 mm de escoamento superficial transporta a maior parte da poluição difusa. Em face desses dois problemas de qualidade e de quantidade no manejo das águas pluviais precipitadas e escoadas no 'tecido urbano', foi selecionado o trabalho com os pavimentos permeáveis.

Dentro desse contexto, este trabalho teve como proposta responder ao seguinte questionamento: **Comparando-se o pavimento intertravado de concreto com o pavimento intertravado permeável, qual oferece o menor escoamento superficial de águas pluviais?**

Diante disso foram formuladas então as seguintes hipóteses: o pavimento intertravado permeável é um dispositivo de captação de parte do escoamento superficial que é desviado para dentro de um reservatório de pedras subjacente a este pavimento; o pavimento intertravado de concreto oferece pouca retenção do volume escoado; o pavimento permeável tem a função de retenção do volume escoado; existe redução da vazão de escoamento superficial com a utilização do pavimento intertravado permeável; a redução da vazão de escoamento superficial com a utilização do pavimento intertravado de concreto é mínima.

Desse modo, as afirmações acima precisam ser comprovadas, se são verdadeiras ou não, sendo esses, emntão, os questionamentos que nortearam o desenvolvimento deste estudo.

Quanto aos demais parâmetros, como o volume do reservatório de brita, a capacidade de absorção do solo adjacente a este reservatório que acarretaria uma maior ou menor capacidade de absorção, o nível máximo do lençol freático reduzindo a percolação da água e a própria resistência à compressão, maior do que 35 MPa, que viesse a permitir a sua utilização em leitos carroçáveis, foram colocadas nas recomendações não sendo selecionadas como variáveis do estudo de caso.

Portanto, o foco foi na seleção de qual intertravado, do ponto de vista do manejo de águas pluviais, seria o mais adequado para implantação no condomínio estudado, podendo recomendar para outros empreendimentos semelhantes e até

mesmo em lotes como forma de redução das áreas impermeáveis e nos leitos das ruas.

As ações públicas para as soluções de drenagem urbana no Brasil estão voltadas, na maioria das vezes, para as medidas estruturais. As soluções geralmente encontradas por parte do poder público têm sido as redes de drenagem, que simplesmente transferem a inundação de um ponto para outro a jusante na bacia.

Os dispositivos que podem ser utilizados são os que aumentam a área de infiltração através de: valos, poços, bacias de infiltração, trincheiras de infiltração ou bacias de percolação e pavimentos permeáveis.

A tendência moderna na área de drenagem urbana, é a busca da manutenção das condições de pré-desenvolvimento atuando na fonte de geração do mesmo. Para tanto, deve-se utilizar de dispositivos de acréscimo de infiltração, do aumento de retardo do escoamento (retenção), aumento da evapotranspiração.

A cobertura vegetal intercepta e conseqüentemente armazena parte do volume de água precipitado, aumentando a evapotranspiração além de reduzir a velocidade do escoamento superficial com o conseqüente aumento do tempo de concentração.

1.1 JUSTIFICATIVA

A aplicação do pavimento permeável já consolidado nos Estados Unidos pode ser visto os seus vários benefícios tais como:

O pavimento permeável recria condições hidrológicas naturais, reproduzindo o pré-desenvolvimento. Pode permitir a água ser filtrada diretamente para o solo, reduz os volumes de *runoff*, reduzem as descargas de água no sistema evitando sobrecargas no sistema de drenagem, melhora a qualidade da água e recarrega o aquífero e pode reduzir os efeitos de ilhas de calor. É uma solução viável onde não se tem vegetação. Reduz a necessidade de grandes infra-estruturas e bacias de retenção. Permite maiores utilização das áreas. Reduz os custos no gerenciamento das águas residuárias. Disponíveis em vários tamanhos e cores. Resistentes a grandes cargas e vibrações. Processo de instalação mecanizada rápida com custo compatível. Fácil manutenção (Stormwater Runoff Solution: Permeable Pavement, Techo-Bloc, Publicado em 13 de abril de 2015).

Etapas de instalação de pavimentos permeável podem ser vistas em ECO Paver Permeable Pavers Installation Essentials, publicado em 11 de março de 2014.

No Brasil, o pavimento permeável é uma das técnicas de controle na fonte do escoamento proposta pela maioria dos Planos Diretores das cidades (TUCCI, 2000). Apesar de existir no arcabouço jurídico nacional, Art. 36 da Lei 11.445/2007 “a cobrança pela prestação do serviço público de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas deve levar em conta, em cada lote urbano, os percentuais de impermeabilização e a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção de água de chuva, bem como poderá considerar: II - as características dos lotes urbanos e as áreas que podem ser neles edificadas”.

O pavimento permeável quando aplicado, por exemplo, nas áreas de estacionamento no interior dos lotes, reduz a impermeabilização. Por outro lado, os reservatórios subjacentes a este pavimento tem a função de retenção e amortecimento de água de chuva. A sua adoção estaria incluindo esse usuário como ‘não predador do sistema’ tendo direito a um valor menor a ser pago quando da cobrança pela prestação do serviço de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

Qualquer Plano Diretor de Drenagem deve considerar medidas de controle do escoamento na fonte, seja no lote, seja no sistema viário. A adoção de medidas que aumentem a área de infiltração na fonte como referenciado no Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2000), “(...) o escoamento durante os eventos chuvosos não pode ser ampliado pela ocupação da bacia, seja em um simples loteamento, seja nas obras de macrodrenagem existentes no ambiente urbano. Uma forma de atender a esses princípios é a execução de medidas de controle do escoamento na fonte, e estas serão de responsabilidade daqueles que produzem o aumento do escoamento e a contaminação das águas pluviais”. Ver-se claramente a preocupação do legislador municipal com os dois aspectos quantidade e qualidade no manejo das águas pluviais.

No mesmo diapasão, o Plano de Manejo de Águas Pluviais de Natal, aborda, também, as medidas de controle do escoamento na fonte, sugerindo: “O controle na fonte pode usar diferentes dispositivos que mantenham a vazão de saída do lote ou loteamento a valor igual ou menor que a vazão de pré- desenvolvimento”. Chama-se a atenção para o ‘lote’ ou ‘loteamento’, subentende-se os condomínios urbanísticos objeto do nosso estudo.

Na realidade o que se preconiza é que se devemos procurar imitar o que acontecia antes do desenvolvimento, antes da ocupação do local pelo homem.

Particularmente, acredita-se ser uma oportunidade poder contribuir para o aumento da aplicação dos pavimentos permeáveis, principalmente em termos profissionais, servindo de estímulo para o aprofundamento no tema, na perspectiva de aprofundar futuramente em uma dissertação de Mestrado, na certeza de contribuir nos futuros projetos de manejo de águas pluviais e drenagem urbana com o uso do pavimento permeável, oferecendo a sociedade, melhoria da qualidade de água lançada nos exutórios finais bem como nas reduções das inundações.

Na certeza de poder estar contribuindo para a disseminação do conhecimento devido a sua importância e a convicção da necessidade do desenvolvimento e realização desse trabalho.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar, através de um estudo de caso, o uso do pavimento intertravado de concreto com o pavimento intertravado permeável, observando-se qual deles oferece o menor escoamento superficial de águas pluviais.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Descrever o processo de escoamento superficial e os fatores que o influenciam;
- Identificar as etapas de implantação do pavimento intertravado de concreto e a sua capacidade de permeabilidade;
- Apontar os aspectos inerentes ao pavimento intertravado permeável, destacando-se o seu controle do escoamento superficial;
- Realizar um estudo de caso real para apontar o tipo de pavimento que oferece menor escoamento superficial de águas pluviais.

1.3 METODOLOGIA

Como metodologia para o desenvolvimento deste trabalho foi envolvida uma pesquisa comparativa, realizando-se um estudo de caso em um condomínio em Jacumã RN, comparando-se a redução do escoamento superficial de águas pluviais do pavimento intertravado de concreto (implantado no condomínio) com o pavimento intertravado permeável.

A pesquisa comparativa, de acordo com Gil (2006), tem por objetivo identificar semelhanças e diferenças, divergências ou igualdades e outros aspectos entre duas situações, procedimentos, fatos e outras relações a serem estudadas.

Teoricamente, foi feito um breve histórico da implantação dos pavimentos permeáveis em outros países com apresentação da normatização sobre os intertravados no Brasil, sua classificação segundo os tipos de pavimentos permeáveis, bem como as vantagens e desvantagens.

Foi estabelecida a aplicação do método racional utiliza o C (Coeficiente de Escoamento Superficial ou Coeficiente de “run off”), que varia em função da maior ou menor absorção do tipo de pavimento, na medida que os outros parâmetros: intensidade da chuva (mm/h) e área de contribuição (hectare) permanecem constante. Desta forma, foi apresentada a vantagem do uso do pavimento intertravado vazado, na medida em que o seu baixo valor do C acarreta uma significativa redução da vazão do escoamento superficial.

Foram, também, abordados os outros aspectos das vantagens do uso do intertravado como a construção do reservatório subjacente a este piso com a função de redução das vazões de pico além do aspecto qualitativo na medida em que esse reservatório constituído de brita tem a função de melhoria da qualidade da água.

Outros itens contemplados são a capacidade de infiltração do solo, quanto maior a absorção, menor a quantidade de água lançada no sistema de drenagem bem como o nível de água do lençol freático, quanto mais elevado maior a quantidade de água lançada no sistema de drenagem.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Inicialmente o trabalho conta com este parte introdutória quando se expõe a justificativa do estudo, seguida pelos objetivos e a metodologia.

Na sequência, tem-se o referencial teórico, quando são feitas abordagens apresentando-se o conceito e particularidades relacionados ao escoamento superficial. Em seguida são trazidos os aspectos relacionados ao pavimento intertravado de concreto, bem sobre o pavimento intertravado permeável, destacando-se a sua tipologia, vantagens, desvantagens e restrições, o seu controle do escoamento superficial, os critérios de projeto e dimensionamento, a sequência executiva de blocos intertravados, a implantação dos pavimentos permeáveis em outros países, encerrando com uma breve explanação sobre a legislação.

Prosseguindo-se é exposto o estudo de caso, tomando-se como área da pesquisa um condomínio urbanístico existente no litoral do Rio Grande do Norte, Praia de Jacumã, onde é apresentado o dimensionamento do intertravado feito pela empresa responsável pelo empreendimento e a partir da utilização do método racional é calculado os caudais considerando o 'Coeficiente de *runoff*' para o tipo de pavimento implantado no condomínio, para o Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e o sugerido por este estudo, o Bloco de Concreto Intertravado Vazado. Durante o estudo de caso levantou-se junto à empresa responsável pelos estudos e implantação da pavimentação e drenagem urbana, o tipo de intertravado utilizado no local (bloco de concreto), bem como o dimensionamento do sistema de drenagem, apontando-se um, parecer final a respeito do tipo de pavimento que oferece o menor escoamento superficial de águas pluviais.

Para finalizar o estudo é apresentada posteriormente a conclusão do trabalho, juntamente com as referências utilizadas para o seu desenvolvimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial talvez seja a fase mais importante do ciclo hidrológico e de maior importância para os engenheiros, pois trata-se da etapa que estuda o deslocamento das águas na superfície da terra e está diretamente ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra os efeitos causados pelo seu deslocamento (erosão do solo, inundações etc.).

Esse tipo de escoamento é presenciado fundamentalmente na ocorrência de precipitações e considera desde o movimento da água de uma pequena chuva que, caindo sobre um solo saturado de umidade, escoar pela sua superfície, formando as enxurradas ou torrentes, córregos, ribeirões, rios e lagos ou reservatórios de acumulação.

Em conformidade Martins (1976), parte da água das chuvas é absorvida pela vegetação e outros obstáculos, a qual é evaporada posteriormente. Da quantidade de água que atinge o solo, parte é retida em depressões do terreno e parte é infiltrada. Após o solo alcançar sua capacidade de absorver a água, ou seja, quando os espaços nas superfícies retentoras tiverem sido preenchidos, ocorre o escoamento superficial da água restante.

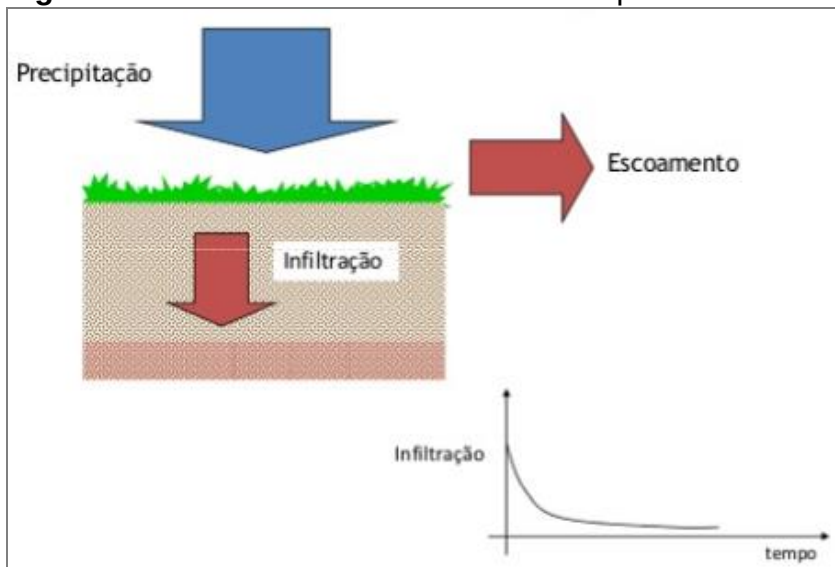
No início do escoamento superficial é formada uma película laminar que aumenta de espessura, à medida que a precipitação prossegue, até atingir um estado de equilíbrio. Neste processo, existem alguns fatores que influenciam este escoamento. São eles:

- **Fatores climáticos:** ligados à intensidade da chuva, duração da chuva e a chuva antecedente;
- **Fatores fisiográficos:** ligados à área e forma da bacia, à permeabilidade e capacidade de infiltração e à topografia da bacia;
- **Obras hidráulicas:** ligadas à construção de barragens, canalização ou retificação e derivação ou transposição;
- **Coeficiente de escoamento superficial (*run off*):** definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Este coeficiente pode ser relativo a uma chuva isolada ou relativo a um intervalo de tempo onde várias chuvas ocorreram (VILLELA; MATTOS, 1975).

Conhecendo-se esse coeficiente para uma determinada chuva intensa de certa duração, pode-se determinar o escoamento superficial de outras precipitações de intensidades diferentes, desde que a duração seja a mesma. Este coeficiente é muito utilizado para se prever a vazão de uma enchente provocada por uma chuva intensa (VILLELA; MATTOS, 1975).

Na figura 1 apresenta-se uma ilustração do escoamento provocado pela intensidade da chuva *versus* a capacidade de infiltração. E na figura 2 mostra-se um exemplo de erosão causada por um escoamento superficial.

Figura 1 – Intensidade da chuva *versus* capacidade de infiltração.



Fonte: <<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/bitstream/...>>.

Figura 2 – Erosão causada por escoamento superficial.



Fonte: <<https://www.google.com.br/search?q=eros%....>>.

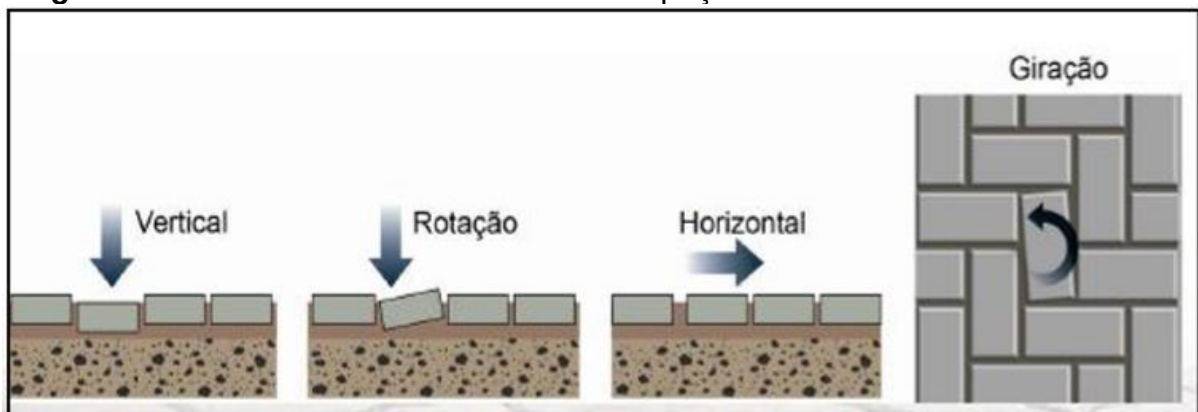
2.2 PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO

O conceito de intertravamento de pavimentos de concreto remete para as estradas do antigo Império Romano, que foram construídas com pedras cortadas de dimensões semelhantes e assentadas próximas umas das outras no solo que se desejava pavimentar (INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE – ICPI, 2011).

Com o propósito de substituir os tijolos de barro, o *paver* foi desenvolvido nos países baixos, no fim da década de 40. Após a 2ª Guerra Mundial a reconstrução da Europa incitou a substituição dos blocos de argila por peças de concreto. No Brasil, esta técnica surgiu nos anos 70, mas existiam critérios mínimos definidos para sua aplicação, o que prejudicava a execução e, conseqüentemente, a imagem dos blocos de concreto para a pavimentação no país (HALLACK, 2001).

O intertravamento consiste na incapacidade de uma peça do pavimento se mover independentemente de seus vizinhos, tendo o seu desempenho estrutural vinculado ao intertravamento das peças (ICPI, 2011). Sendo definida, também, como a capacidade das peças resistirem aos movimentos de deslocamento individual, seja vertical, horizontal, de rotação ou de giração em relação às peças vizinhas, conforme é mostrado na figura 3, de acordo com a Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2008).

Figura 3 – Movimento de deslocamento das peças.



Fonte: ABCP (2008).

De acordo com a ABCP (2008), o pavimento intertravado de concreto consiste em um pavimento flexível cuja estrutura é composta por uma camada de base (ou base e sub-base), seguida por camada de revestimento constituída de

peças de concreto sobrepostas em uma camada de assentamento e cujas juntas entre as peças são preenchidas por material de rejuntamento. O intertravamento do sistema é proporcionado pela contenção nas laterais.

No que se refere ao conforto térmico, a ABCP (2008 *apud* NABESHIMA; ORSOLIN; SANTOS, 2011, p. 30) afirma que:

A coloração mais clara das peças de concreto, em relação aos demais tipos de produtos, reduz a absorção de calor na superfície do pavimento, melhorando o conforto térmico e diminuindo a formação das ilhas de calor nos centros urbanos, causados pela impermeabilidade do solo e uso de pavimentos escuros. A redução de temperatura pode chegar a 17°C.

Além do conforto térmico, esse pavimento oferece a capacidade de poupar energia elétrica, pois tem a capacidade de aumentar a reflexão da luz devido à coloração clara dos blocos de assentamento. O ganho gira em torno de 30% quando comparado ao pavimento flexível das ruas, que é de concreto asfáltico. Em termos práticos consegue gerar economia de iluminação pública (MARCHIONI; SILVA, 2011).

Definindo de maneira simples e sutil, Maciel (2007) descreve que a execução de um pavimento intertravado com blocos de concreto consiste em assentar os blocos em uma camada de areia grossa, compactar e preencher as juntas com areia fina e efetuar uma nova compactação. Para o travamento do sistema são necessárias contenções laterais.

Em conformidade com a NBR 15953/2011, o processo de pavimentação envolve a execução de 05 etapas que constam na Cartilha de Pavimento Intertravado Permeável – melhores práticas, da ABCP e na norma de execução. Em cada etapa são abordados aspectos técnicos e práticos. São elas:

1. Etapa de nivelamento e compactação do subleito: o subleito é o terreno de fundação do pavimento, que pode ser constituído de solo natural ou oriundo de empréstimo, daí a necessidade de se conhecer previamente as características inerentes deste solo, que deve apresentar Índice de Suporte Califórnia (CBR) maior que 2% determinado pela NBR 9895.

2. Execução das camadas de base e sub-base: a camada de sub-base refere-se à camada corretiva do subleito ou complementar à base. No entanto, somente é executada quando se tem a necessidade de melhorar a capacidade de

carga das camadas adjacentes. A base trata-se da camada a qual se destina e distribui os esforços vindos do tráfego.

3. Execução de contenções laterais: a contenção lateral serve para evitar o deslocamento das peças durante a vida útil do pavimento. Sua tipologia envolve meiosfios, meios-fios-sarjetas e vigas armadas ou não-armadas. Conforme Godinho e Grossi (2002), a condição ideal é que estes confinamentos apresentem as faces em contato com os blocos perfeitamente verticais.

4. Camada de assentamento e rejuntamento: o material de assentamento e de rejuntamento deve ter uma distribuição granulométrica que resulte em um adequado teor de vazios. Deste modo, existirá um coeficiente de permeabilidade apropriado para o pavimento, que está intimamente ligado ao teor dos finos e, portanto, a limitação deste requisito deve ser observada no material utilizado. Deste modo, esta etapa é muito importante no que diz respeito à permeabilidade (MARCHIONI; SILVA, 2011).

5. Colocação das peças: o arranjo de assentamento das peças deve envolver uma definição prévia, pois é importante para o alinhamento entre o eixo das peças e o da via. Os formatos das peças são muito variados, podendo ter arranjos de assentamento bastante diversificados.

2.2.1 Permeabilidade

A maioria das ações para diminuir os problemas com drenagem urbana tem por princípio conduzir as águas das chuvas para jusante. Neste processo, os dispositivos que permitem o acréscimo de infiltração e o aumento do tempo de retardo do escoamento superficial são parte da solução. O pavimento intertravado de concreto nos passeios pode contribuir para uma maior infiltração da água da chuva. Tal contribuição é justificada pelos espaços livres entre as peças, locais por onde a água irá passar e também pela execução das camadas de base, que permitem que a água infiltre (MARCHIONI; SILVA, 2011).

Marchioni e Silva (2011) afirmam que sempre existirá um potencial de permeabilidade por meio das juntas, o atendimento da distribuição granulométrica recomendada, possibilita atingir o coeficiente de permeabilidade dos agregados na ordem de $3,5 \times 10^{-3}$ m/s, o que garante um eficaz funcionamento do sistema. No entanto, este fator não poderá ser verificado em todos os testes, pois os ensaios

serão em pavimentos já existentes e a investigação das camadas com a remoção das peças é inviável.

A colmatação é outro fator importante que em zonas urbanas é função de fatores locais, como a variedade e a quantidade de material pulverulento depositado nas juntas. O tráfego também intervém na colmatação, uma vez que onde existe tráfego intenso há uma sucção provocada pela passagem de veículos, que tem a tendência de descolmatar os vazios (VIRGILIIS, 2009).

2.3 PAVIMENTO INTERTRAVADO PERMEÁVEL

Os pavimentos permeáveis são aqueles que permitem a água escoar através dos espaços livres em sua estrutura, podendo infiltrar no solo ou ser transportada através de um sistema de drenagem próprio, reduzindo o escoamento superficial e retardando a chegada da água ao subleito, como consequência, diminuindo a probabilidade de catástrofes, como inundações e erosão.

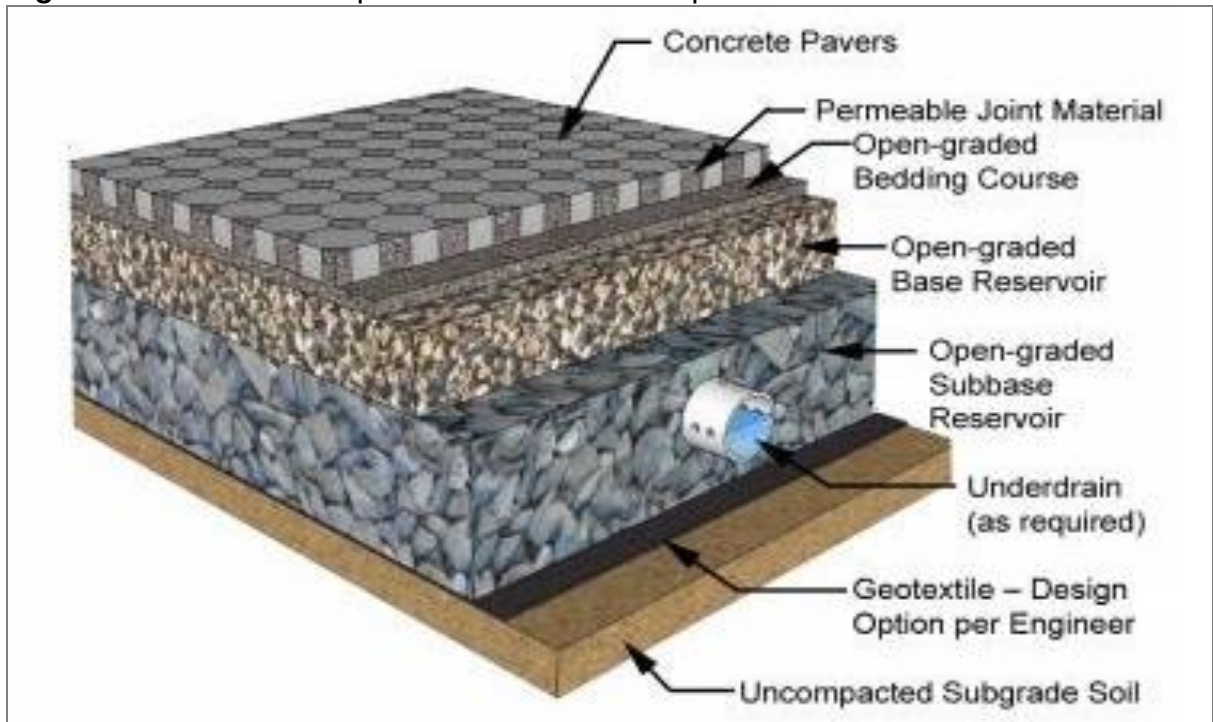
Também é definido como um dispositivo de infiltração em que o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras, localizado sob a superfície do terreno, por onde infiltra através do solo, podendo sofrer evaporação ou atingir o lençol freático (URBONAS; STAHLRE, 1993).

Esse tipo de pavimento é composto por duas camadas de agregados (uma de agregado fino ou médio e outro de agregado graúdo) mais a camada do pavimento permeável propriamente dito. Como efeito, tem-se a melhora da qualidade de água infiltrada, pois os agregados funcionam como filtros diminuindo a quantidade de poluição transportada e contribuindo para a recarga (FERGUSON, 2005).

Em conformidade com Araújo, Tucci e Goldenfum (2000), o escoamento infiltra rapidamente na capa ou revestimento poroso, que tem espessura de 5 a 10 cm e serve como um “conduto” rápido para escoamento, depois atravessa um filtro de agregados de 1,25 cm de diâmetro e espessura de 2,5 cm e segue para um reservatório de pedras com agregados de 3,8 a 7,6 cm, por onde a água fica armazenada um tempo, até ser infiltrada para o subsolo ou coletada por tubos de drenagem e transportado até uma saída. Assim, a capacidade de armazenamento dos pavimentos porosos é determinada pela profundidade desse reservatório e pelo escoamento perdido por infiltração para o subsolo.

Na figura 4 mostram-se as camadas que compõem o pavimento intertravado permeável; e na Figura 5 apresenta-se uma imagem de um pavimento intertravado permeável com grama.

Figura 4 – Camadas do pavimento intertravado permeável.



Fonte: < <http://www.rhinopisos.com.br>>.

Figura 5 – Pavimento permeável com grama.



Fonte: < www.aecweb.com.br>.

2.3.1 Tipos de Pavimento Permeável

Os pavimentos permeáveis podem ser classificados de acordo com a sua capacidade de infiltração ou pela composição.

a) Classificação segundo a infiltração

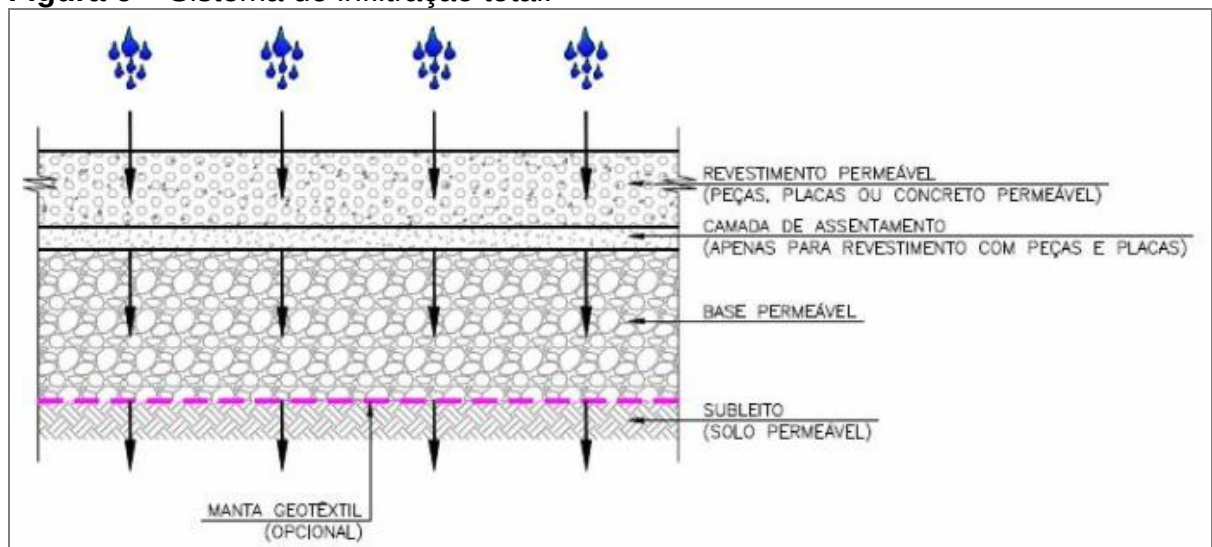
Conforme Azzout *et al.* (1994) existem quatro tipos de pavimentos permeáveis, podendo possuir revestimento drenante ou impermeável e ainda ter a função de infiltração ou apenas de armazenamento.

Para Schueler (1987), no projeto de pavimentos permeáveis se encaixam três categorias básicas que dependem da capacidade de infiltração do solo e do armazenamento da água provido pelo reservatório. São elas:

1. **Sistema de infiltração total:** caracteriza-se quando o único meio de saída do escoamento é através da infiltração do solo. Com isto, o reservatório de pedras deve ser grande o suficiente para acomodar o volume do escoamento de uma chuva de projeto, menos o volume que é infiltrado durante a chuva. Deste modo, o sistema promove o controle total da descarga de pico, do volume e da qualidade da água, para todos os eventos de chuva de magnitude igual ou inferior à chuva de projeto.

Na figura 6 apresenta-se um sistema de infiltração total, quando podem ser observadas as etapas que compõem tal sistema.

Figura 6 – Sistema de infiltração total.

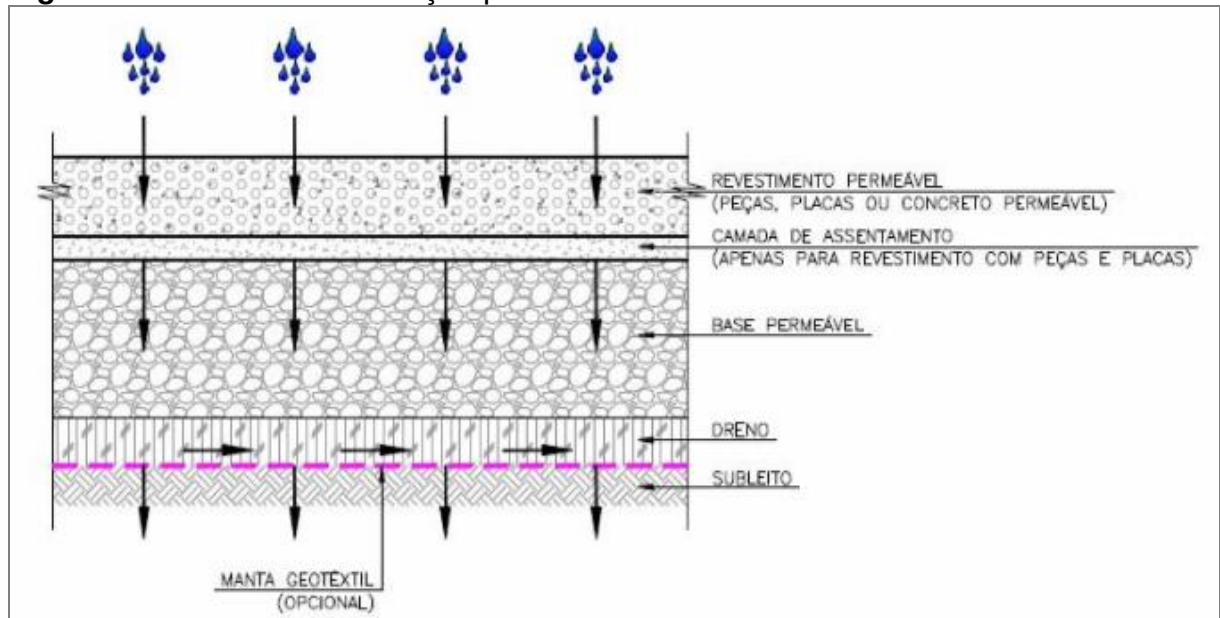


Fonte: <<http://pe.tempsite.ws>>.

2. Sistemas de infiltração parcial: deve ser utilizado nos casos em que o solo não possui uma boa taxa de infiltração. Neste caso, deve ser instalado um sistema de drenagem enterrado, que consta de tubos perfurados espaçados regularmente, localizados na parte superior do reservatório de pedras. O sistema funciona no sentido de coletar o escoamento que não seria contido pelo reservatório de pedras, levando-o para uma saída central. É sugerido que o tamanho e espaçamento da rede de drenagem devem ser dimensionados de modo a receber no mínimo uma chuva de dois anos de tempo de retorno.

Na figura 7 mostra-se um sistema de infiltração parcial, podendo ser verificadas todas as etapas que compõem tal sistema.

Figura 7 – Sistema de infiltração parcial.



Fonte: <<http://lpe.tempsite.ws>>.

3. Sistema de infiltração para controle da qualidade de água: utilizado para coletar o fluxo inicial da chuva, que contém a maior concentração de poluentes. Os volumes em excesso não são tratados pelo sistema, sendo transportados através de drenos para um coletor de água pluvial.

O pavimento também pode receber o escoamento superficial provenientes de telhados, calhas ou outras áreas impermeáveis. Assim, antes da chegada ao pavimento, a água deve passar por um pré-tratamento para remover a poluição que pode ser de sedimentos, óleos e partículas em suspensão, evitando o entupimento do dispositivo.

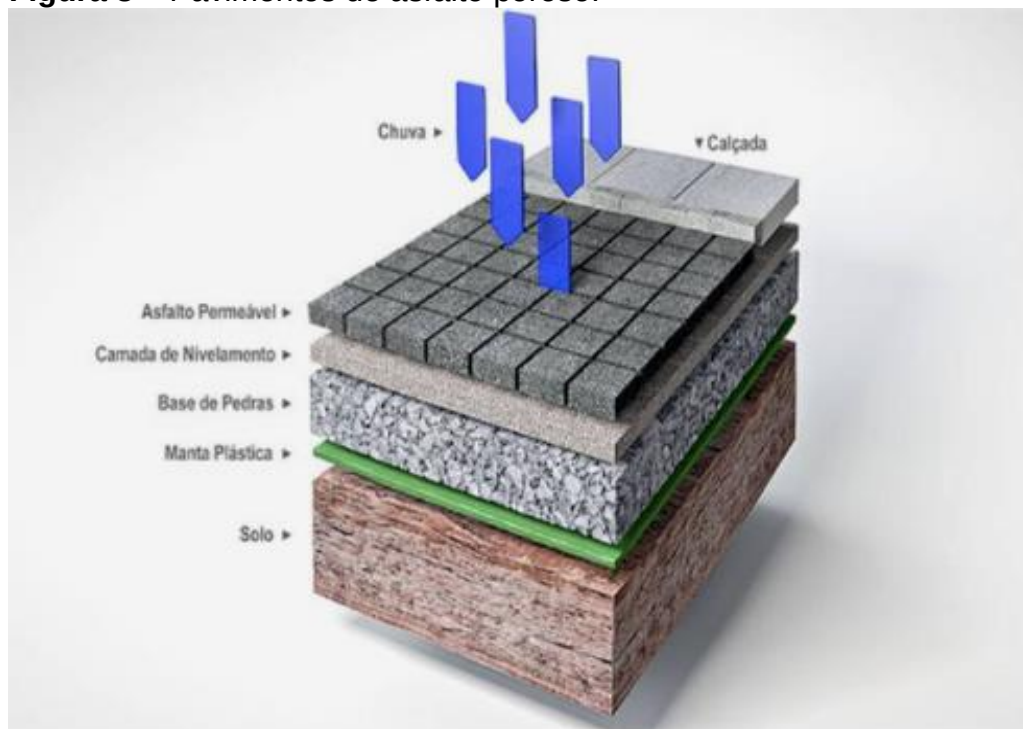
Alguns autores ainda citam mais um tipo de classificação de acordo com a infiltração, que é o sistema de pavimento sem infiltração. Deve ser utilizado quando o solo do subleito apresenta baixa permeabilidade ou nível do lençol freático se encontra elevado. Nessa situação todo volume de água é coletado com drenos perfurados e espaçados de três a oito metros para condução da água até a rede de drenagem. O sistema deverá prever o esgotamento do volume em um período de 6 a 12 horas.

b) Classificação segundo a composição

1. Pavimento de asfalto poroso

O revestimento asfáltico é composto de forma similar as convencionais, porém sem a fração de areia fina da mistura dos agregados do pavimento. Também conhecida como Camada Poresa de Asfalto (CPA). Este tipo de pavimento pode conter de 18% a 25% de vazios, permitindo a rápida infiltração da água. Além de facilitar a permeabilidade, o CPA também aumenta a aderência pneu-pavimento e a redução de ruído. Na figura 8 tem-se uma ilustração deste tipo de pavimento.

Figura 8 – Pavimentos de asfalto poroso.

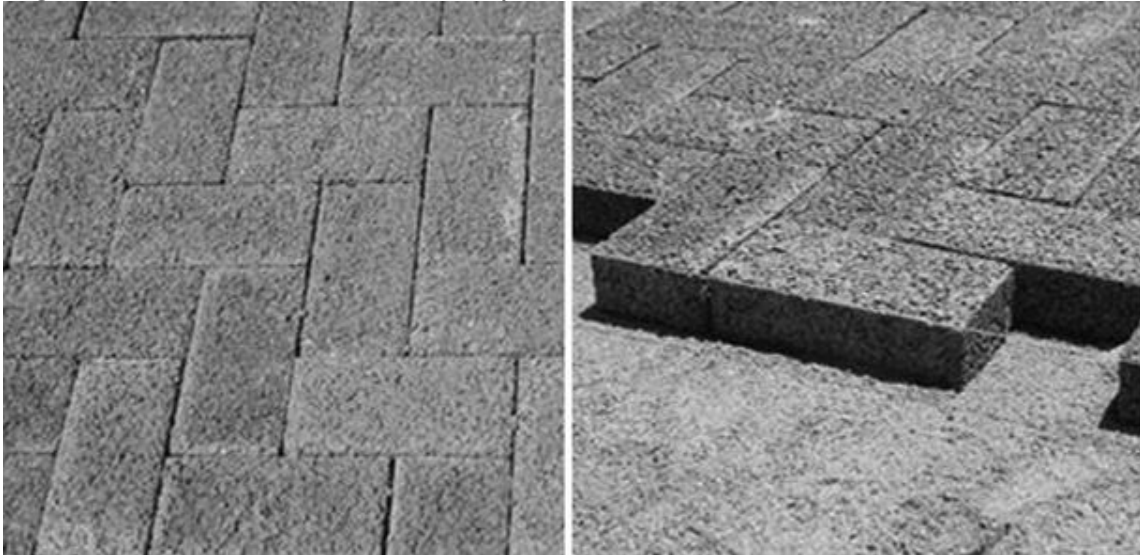


Fonte: <<http://propostasarq.wordpress.com>>.

2. Pavimento de concreto poroso

A camada superior de concreto poroso é composta a partir de conceito similar a do CPA, também com a retirada da fração de areia fina da mistura dos agregados do pavimento, obtendo de 15% a 25% de vazios. Em função disso, é indicado apenas para locais de tráfego pouco intenso, por apresentar uma menor resistência em relação ao concreto comum. Na figura 9 tem-se uma demonstração deste tipo de pavimento.

Figura 9 – Pavimento de concreto poroso.



Fonte: < <http://piniweb.pini.com.br>>

3. Pavimento de bloco de concreto vazado

São assentados sobre material granular, como areia, e preenchidos com grama. Utiliza mantas geotêxteis como filtros que são colocados sobre a camada de areia impedindo que a areia fina passe para as camadas granulares inferiores. Na figura 10 apresenta-se uma imagem deste tipo de pavimento.

Figura 10 – Pavimento de bloco de concreto vazado.



Fonte: < [http:// www.artmoldados.com.br](http://www.artmoldados.com.br)>.

4. Pavimento de bloco de concreto e paralelepípedo

A permeabilidade desse tipo de pavimento depende da permeabilidade do concreto do bloco em si e da granulometria do material de assentamento e das juntas. Além de ser o pavimento com menor capacidade de infiltração sua permeabilidade diminui com o tempo podendo chegar a metade do valor original após cinco anos de vida (MADRID 2010).

Também pode ser utilizado o paralelepípedo como revestimento, porém a permeabilidade do material em si não pode ser condicionada devido ao fato da rocha ser impermeável, assim a infiltração da água vai depender do material do assentamento e das juntas. Na figura 11 mostram-se duas imagens referentes a esse tipo de pavimento.

Figura 11 – Pavimento de bloco de concreto e paralelepípedo.



Fonte: < [http:// pisointertravado.wordpress.com](http://pisointertravado.wordpress.com) >.

2.3.2 Vantagens, Desvantagens e Restrições

De acordo com o EPA (1999), algumas vantagens específicas do uso de pavimento permeável são:

- A infiltração reduz o volume total de água que entraria na rede de drenagem, diminuindo o risco de inundações nos sistemas a jusante;
- Os dispositivos de infiltração podem ser usados onde não haja rede de drenagem que possa absorver o escoamento proveniente do empreendimento.
- Reduzem os impactos hidrológicos da urbanização ao controlar o escoamento na fonte;
- A infiltração pode ser usada para aumentar a recarga do aquífero;
- Tratamento da água da chuva através da remoção de poluentes;
- A construção dos dispositivos de infiltração normalmente é simples e rápida e os custos podem ser menores que em outros sistemas;
- Diminuição da necessidade de meio fio e canais de drenagem;
- Diminuição de derrapagens e ruídos, aumentando a segurança e conforto em vias;
- Manutenção das condições de pré-urbanização no local.

Conforme o EPA (1999) as desvantagens específicas dos pavimentos permeáveis incluem:

- O pavimento poroso tem a tendência de tornar-se obstruído se for inapropriadamente instalado ou mantido;
- Há o risco de contaminação do aquífero, dependendo das condições do solo e da suscetibilidade do aquífero;
- O pavimento poroso envolve um risco de falha considerável (devido à colmatagem ou má construção);
- Sobrecargas podem comprometer a estrutura do pavimento.

O pavimento permeável, apesar de importantes vantagens, como o controle do escoamento superficial, apresenta algumas restrições. O mesmo não deve ser utilizado em alguns locais, como: regiões de clima frio, devido ao entupimento pela neve; em regiões áridas, devido à alta amplitude térmica e em regiões com altas taxas de erosão devido ao vento, em face do grande acúmulo de sedimentos na superfície e áreas de recarga de aquífero. O uso do pavimento

permeável pode ser restrito, requerendo solos permeáveis profundos, tráfego leve e uso de terras adjacentes.

Outras limitações apresentadas por esse tipo de pavimentação se dá quando a água drenada for contaminada, evitando impacto sobre o lençol freático, quando existe falta de controle na construção (erros na compactação que diminuam a permeabilidade) e na manutenção (entupimento dos caminhos de condução da água) e quando existe fluxo de veículos com sobrecarga.

2.3.3 Pavimento Permeável e o Controle do Escoamento Superficial

Como consequência da urbanização surgiu áreas impermeáveis que deram origem ao sistema tradicional de drenagem, baseando-se no rápido afastamento do excesso pluvial e assim aumentando o volume escoado e as vazões de pico, enquanto reduz o tempo de escoamento, tornando os hidrogramas de cheias críticos e aumentando assim a frequência e a gravidade de catástrofes como inundações.

Segundo Ciria (1996), os principais impactos decorrentes da urbanização são:

- a) Aumento no volume do escoamento superficial;
- b) Aumento da frequência e intensidade das inundações;
- c) Redução da umidade do solo, reduzindo o lençol freático;
- d) Aumento na carga de poluentes decorrente do escoamento superficial.

Diante desses problemas foi necessária a modernização do sistema de drenagem urbana que tem como princípio: a infiltração da água no solo, quando possível, controlando na fonte do escoamento superficial; e o armazenamento provisório da água pluvial, também com o objetivo de controlar o escoamento e limitar a poluição a jusante.

2.3.4 Critérios de Projeto e Dimensionamento

Assim como toda obra a fase de projetos dos pavimentos permeáveis é fundamental para o seu bom funcionamento. Um projeto bem feito gera um sistema mais funcional, de menor custo e com menores problemas futuros. Não da importância a essa etapa leva quase sempre ao mau funcionamento.

Na fase do projeto devem-se levar em consideração os critérios físicos, ambientais, econômicos e regulamentares. O estudo da viabilidade, estudos

complementares, escolha do material e dimensionamento mecânico são indispensáveis nessa fase.

a) Análise da viabilidade

Consiste em determinar se o pavimento permeável é a alternativa mais adequada para as condições do local de implantação.

Os principais requisitos que devem ser observados para determinar a adequação do pavimento permeável são: a verificação se o solo suporte é permeável; se o lençol freático está em uma profundidade adequada com relação ao pavimento; se não existe risco de poluição e se o solo suporte é propício a infiltração.

b) Estudos complementares

Os estudos básicos tem o objetivo de determinar as características do local em estudo, do solo suporte, dos estudos hidrológicos e hidrogeológicos que são necessários no projeto.

– Características do local de implantação:

É basicamente o reconhecimento do local onde será instalado o pavimento que determina as áreas a serem drenadas, a existência da vegetação nos arredores, a topográfica do local, a existência de redes de água ou esgoto e o tráfego ao qual o pavimento é submetido.

Na análise da região a ser drenada para calcular o volume de armazenamento necessário deve ser determinada a área de contribuição e sua taxa de impermeabilização.

É necessária também a identificação do uso das áreas de drenagem para avaliar a qualidade da água, determinando-se as características da água de contribuição e a presença de contaminantes. Se existir a presença de contaminantes na água de contribuição deve ser realizado um pré-tratamento da água, para evitar o rápido entupimento dos poros do pavimento (AZZOUT *et al.*, 1994).

O reconhecimento da vegetação também é importante. A presença de áreas verdes ou de terreno descoberto pode representar o entupimento dos poros através

do transporte de terra ou folhas no mesmo. Se existir essa situação deve ser usado obstáculos ou canaletas para evitar esse transporte.

Também deve ser analisada a presença de estruturas de engenharia próximas ao local de implantação do pavimento. Pois o aumento da umidade do solo pode prejudicar fundações existentes.

– Características do solo subjacente:

Para garantir o bom funcionamento do pavimento é necessário conhecer o solo suporte. Dentre os fatores que devem ser observados estão:

- Taxa de infiltração do solo saturado: deve ser calculada através de ensaios *in situ*, em diversos pontos do local de implantação. Devendo ser traçado a curva de infiltração até a saturação do solo.
- Capacidade de carga: é importante para o dimensionamento mecânico do pavimento.
- Comportamento do solo e presença de água: tem como objetivo evitar a possibilidade de contaminação do lençol freático. Assim como detectar riscos como a perda da capacidade de carga do solo em função do aumento da umidade.

– Estudos Hidrogeológicos

Nesse estudo devem ser analisadas as características do lençol freático, tais como seu uso, a cota do lençol, as flutuações sazonais e suas propriedades quantitativas. Se o lençol freático tiver em uma profundidade inferior a um metro, ou se for usado para abastecimento de água potável, não é aconselhável o uso de dispositivos de infiltração.

– Estudos Hidrológicos

O estudo hidrológico para servir de base para o projeto deve identificar (AZZOUT *et al.*, 1994):

- A vazão máxima de saída permitida para a rede de drenagem, a qual é utilizada no cálculo do volume do reservatório para dispositivos de infiltração parcial;

- As características pluviométricas, como intensidade da chuva utilizada no dimensionamento hidráulico-hidrologico;
- Localização do exutório, situado no ponto mais baixo do terreno;
- As possíveis áreas de armazenamento de água, onde se localizará o reservatório do pavimento, que depende do volume de armazenamento, da direção do escoamento e do tipo de estrutura utilizado;
- O coeficiente de escoamento das áreas contribuintes, utilizado na determinação do volume de estocagem.

c) Escolha dos materiais

Cada uma das camadas do pavimento deve ser estudada para que se possa utilizar o material adequado, escolhido em função da espessura máxima aceitável da estrutura (econômica e tecnicamente) e das solicitações mecânicas as quais o pavimento será submetido.

– Camada superficial

Essa camada tem contato com os veículos que trafegam pelo pavimento e é a primeira camada em que a água da chuva chega; assim deve resistir às solicitações produzidas pelo tráfego e permitir a infiltração da água da chuva. Deve ser escolhido em função do seu uso e da capacidade de infiltração, além de outros fatores que também devem ser observados, como a estética, a aderência, a acústica, a resistência ao arrancamento, o custo, a disponibilidade e a manutenção dos vários tipos disponíveis.

Os tipos mais utilizados de material para essa camada são: asfalto poroso, concreto poroso, blocos de concreto e blocos de concreto vazado (Figura 12). Tanto o concreto como o asfalto poroso são preparados de forma semelhante aos pavimentos convencionais, com a diferença básica de que são retirados os agregados finos (areia), dando a eles a porosidade necessária para a infiltração da água da chuva (URBONAS; STAHLRE, 1993).

O concreto poroso apresenta resistências relativamente baixas, atingindo os valores de 20 a 30 Mpa de resistência de compressão. Por isso, é indicado apenas para locais submetidos à baixa tensão, como quadras, calçadas e estacionamentos.

Os blocos vazados intertravados de concreto possuem aberturas (furos) em sua estrutura que permitem que a água penetre para dentro do reservatório. As aberturas podem ser preenchidas com areia, cascalho ou grama. Esses blocos devem apresentar pelo menos 20% de sua área de vazios (UDFCD, 2002).

Figura 12 – Pavimento poroso em asfalto (1); pavimento poroso em concreto (2); pavimento permeável com blocos pré-moldado de concreto (3).



Fonte: <[http:// pisointertravado.wordpress.com](http://pisointertravado.wordpress.com)>.

– Camada base ou reservatório

Essa camada tem como função transmitir as solicitações aplicadas na camada superior para o solo suporte, e também de armazenar provisoriamente a água proveniente da chuva, até sua infiltração no solo, ou drenagem pela rede lateral. O material que constitui essa camada deve ser escolhido em função de sua compatibilidade com a camada superficial, do tipo de tráfego, dos aspectos construtivos, da porosidade e do custo.

O material mais usado é a brita, na qual deve apresentar um diâmetro superior a 10mm. Nos casos em que o pavimento é submetido ao tráfego pesado, a camada base deve ser feita com material tratado com ligante betuminoso ou hidráulico (concreto poroso), de forma a conferir uma maior resistência e menor deformação a camada base. Esse material possui um volume de vazios inferior e um custo de execução superior se comparado à base de brita comum (AZZOUT *et al.*, 1994).

Com a intenção de aumentar a capacidade de estocagem do reservatório, sem aumentar a espessura da camada, utilizam-se materiais alveolares em plástico. Eles possuem uma aparência semelhante à de uma comeia e porosidade superior a 90%.

d) Dimensionamento mecânico

O dimensionamento da estrutura do pavimento permeável envolve a determinação do volume drenado pela superfície ou por outra área contribuinte cujo volume escoar para a área do pavimento. A precipitação de projeto é obtida com base no tempo de retorno de projeto e da equação Intensidade, Duração e Frequência (IDF) do local (ARAÚJO *et al.*, 2000).

Para uma estrutura permeável de infiltração total (sem tubos de drenagem internos), o reservatório de pedras interno deve garantir a acomodação do volume de água da chuva de projeto menos o volume infiltrado durante a chuva.

Os pavimentos permeáveis, considerando a relação entre a intensidade de chuva de projeto e a condutividade hidráulica da estrutura (a segunda sempre maior que a primeira), só são viáveis para taxas de infiltração superior a 7 mm/h. Uma amostragem representativa do solo do subleito seria a realização de sondagens a profundidades de 0,6 a 1,2 m abaixo do reservatório de pedras britadas (agregados). A camada impermeável ou o nível do lençol freático deve estar pelo menos 1,2 m abaixo da estrutura do pavimento. Por questões construtivas, recomenda-se que o reservatório tenha profundidade mínima de 15 cm.

2.3.5 Sequência Executiva de Blocos Intertravados

A sequência executiva de blocos intertravados ocorre atrás de cinco etapas. A primeira delas se dá pela preparação do subleito, que deve ser preparada com

solo local ou solo emprestado e deve apresentar o índice de CBR maior que 2%. Toda camada de subleito deve estar limpa.

A segunda etapa é a aplicação da manta geotêxtil e o tubo de drenagem. A manta deve ser posicionada logo a cima do subleito passando um pouco das laterais.

Já a terceira etapa se dá pela preparação das camadas de sub-base e base. Na sub-base é utilizada a brita lavada que é espalhada em camadas de 10 a 15 cm e compactada usando uma placa vibratória ou rolo compactador. Já a base tem espessura fixa de 10 cm e pode ser executada em uma única camada compactada.

O quarto passo consiste no assentamento das peças as quais devem ser posicionadas com tensões laterais para garantir a estabilidade horizontal do sistema. Após a compactação a camada de assentamento deve ter a espessura de 50mm. O material é nivelado manualmente por meio de régua metálica e o assentamento das peças pode ser manual ou mecanizado.

A quinta e última etapa é a de rejuntamento e compactação, em que após assentar as peças, o material para rejuntamento é espalhado e deve formar uma camada fina e uniforme. Executasse então a varrição do material até que as juntas sejam preenchidas a cinco milímetros do topo das peças.

2.3.6 Implantação dos Pavimentos Permeáveis em Outros Países

Tradicionalmente, as obras de pavimentação procuram conferir ao revestimento a máxima impermeabilidade possível. Esta medida visa proporcionar ao solo proteção contra o aumento da umidade, que diminuiria sua capacidade de carga, assim como evitar a rápida degradação do revestimento, o qual fissura quando submetido a pressões devido à água.

Com o crescimento da malha viária em todo o mundo, juntamente com o crescimento das cidades, a impermeabilização do solo fez aumentarem a frequência e a intensidade dos eventos de inundação intra-urbana. Isto levou a se procurar técnicas alternativas de drenagem que devolvesse ao solo a capacidade de infiltração anterior à urbanização.

O pavimento com estrutura porosa foi inicialmente aplicado na França, nos anos de 1945-1950, porém sem muito êxito, pois a qualidade do betume na época (heterogêneo e de pouca trabalhabilidade) não sustentava as ligações da estrutura,

devido ao excesso de vazios. Ele foi novamente utilizado somente vinte anos depois, no final dos anos 1970, quando alguns países como a França, os Estados Unidos, o Japão e a Suécia, voltaram a se interessar pelo pavimento poroso (AZZOUT *et al.*, 1994).

Os principais motivos que levaram a utilização sistemática dos pavimentos permeáveis foram:

- Aumento das superfícies impermeáveis, devido ao rápido crescimento populacional do pós-guerra, sobrecarregou os sistemas de drenagem existentes, levando a frequentes inundações urbanas;
- A drenagem da água evita a formação de poças no pavimento, o que aumenta a segurança e o conforto para dirigir durante eventos chuvosos;
- O reduzido nível de ruídos em comparação com o pavimento convencional, o que ajuda a diminuir a poluição sonora das cidades.

Nos Estados Unidos, vários estados criaram leis mudando os objetivos e métodos de drenagem urbana, impondo a máxima infiltração ou armazenamento temporário da água de escoamento superficial. Em certos casos, a água armazenada era conduzida por diversos usos, como irrigação (MASTERS *et al.*, 1982 *apud* AZZOUT *et al.*, 1994).

Na França, em 1978, foi lançado um programa de pesquisa para explorar novas soluções para a diminuição das inundações. Dentre estas pesquisas, o pavimento permeável destacou-se como uma das soluções mais importantes, graças a sua facilidade de integração ao ambiente das cidades (DEUTSCH, CANIARD *et al.*, 1978 *apud* AZZOUT *et al.*, 1994). Desde então, o pavimento permeável passou a ser objetivo de pesquisas e experimentações, de forma que foi alcançado um domínio da técnica e suas vantagens. O pavimento permeável passou então por um importante desenvolvimento industrial, iniciando em 1987, sendo hoje amplamente utilizado em vias, calçadas, praças etc.

No Japão, o pavimento permeável é integrado a programas que incluem todas as técnicas de infiltração. Tais técnicas são utilizadas principalmente nos bairros das grandes cidades, em lugares disponíveis e que podem ser inundados, tais como quadras de esportes de universidades, pátios de escolas, etc. Pode-se citar como exemplo a cidade de Yokohama, que atingiu a marca de 4,4 milhões de habitantes em 1994, e por isso desde 1982, tem estudado técnicas de controle na fonte através do Urban Water Resources Centre (UWRC), que tem

incorporado as técnicas a diversos projetos de loteamentos urbanos, terrenos industriais e estacionamentos. Dentre eles, o St Elizabeth Church “Environment-friendly” carprk, em Marion, inclui a utilização de pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração em estacionamentos e quadra de tênis (UWRC, 2004).

2.4 LEGISLAÇÃO

Para controlar a impermeabilização das superfícies nas grandes cidades é comum as prefeituras exigirem que uma parcela do terreno seja mantida livre de pavimentação, geralmente variando entre 15% a 30% do terreno. Porém nem sempre é possível facilmente atender este requisito. Uma forma de conseguir atender a legislação da cidade e ao mesmo tempo manter a área útil do terreno é através da utilização dos pavimentos permeáveis.

Vale ressaltar, que os pavimentos permeáveis podem contribuir muito mais que áreas urbanas livres de pavimentação, em relação à crescente impermeabilização das cidades. Isto se justifica, pois na maioria das vezes estas áreas livres de pavimentação, já se encontram compactadas, e mesmo quando apresenta cobertura vegetal os solos apresentam camadas inferiores com alto grau de compactação, resultando em baixo coeficiente de percolação de água.

Outra vantagem dos pavimentos permeáveis é que eles promovem um retardo da chegada da água do terreno ao sistema de drenagem da cidade, fator que já é levado em conta em projetos de grande porte, como shopping centers e supermercados.

3 ANÁLISE DO ESTUDO DE CASO

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO

Trata-se de um condomínio residencial horizontal, localizado na Praia de Jacumã, no município de Ceara- Mirim/RN, medindo cerca de 16,20 hectares de área de terreno. O condomínio possui 197 lotes e é equipado com área de lazer contendo piscina, deck molhado, quadras poliesportivas, quadras de tênis e espaço para jogos. Neste estudo de caso foi analisado o tipo de pavimentação intertravada utilizado. Na figura 13 tem-se uma imagem aérea do local estudado.

Figura 13 – Imagem aérea do condomínio localizado na Praia de Jacumã.



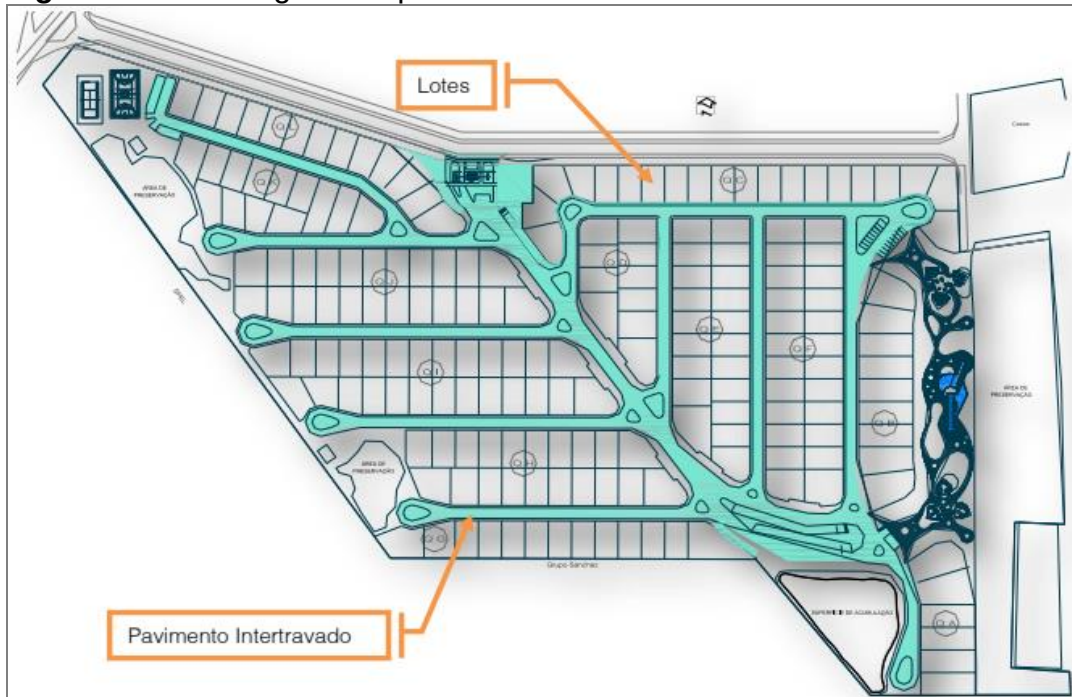
Fonte: Relatório ECOMAX (2012).

3.2 PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO

O projeto teve como objetivo a estimativa de tráfego e o dimensionamento das camadas dos pavimentos da pista de rolamento e da plataforma de estacionamento do condomínio em estudo, de forma a atender as necessidades locais com critérios técnicos, econômicos e ambientais aplicados a esta área da engenharia.

Após a análise das possibilidades dos tipos de pavimentação, optou-se nesse projeto trabalhar com blocos intertravados de concreto. Na figura 14 mostra-se uma visão geral do pavimento intertravado.

Figura 14 – Visão geral do pavimento intertravado.



Fonte: Relatório ECOMAX (2012).

A seguir é apresenta-se o estudo e dimensionamento do pavimento intertravado.

1. Estudo e dimensionamento do pavimento intertravado da pista de rolamento.

Considerações:

- Pavimento intertravado com revestimento com blocos de concreto;
- Área a ser pavimentada: 24.196,63 m².

O dimensionamento de um pavimento intertravado é baseado em duas premissas: o estudo do tráfego e as características do subleito onde este pavimento irá apoiar-se.

O tráfego é dimensionado em função do número equivalente de operações do eixo padrão durante o período de projeto do pavimento. Este resultado, conhecido como número N, corresponde à quantidade de repetições equivalentes de

um eixo simples tomado como padrão, e de carga igual a 8,2 toneladas ou 18000 libras.

As características do subleito são avaliadas por ensaios de laboratórios com destaque para os ensaios de CBR, compactação, limite de liquidez e limite de plasticidade.

Cálculo do número N:

Nas áreas da pista de rolamento apenas veículos de passeio (leves) irão trafegar sobre os blocos de concreto, desta forma, adotaremos um número N na ordem de 105, o quê caracteriza tráfegos leves, de acordo com o IP-06, Instruções para Dimensionamento de Pavimentos com Blocos Intertravados de Concreto, documento este que fornece subsídio para o dimensionamento deste tipo de pavimento para a prefeitura de São Paulo.

Sendo assim, para esse dimensionamento adotou-se:

$$N=1,0 \times 10^6$$

A partir de valores de CBR utilizados no dimensionamento do pavimento do empreendimento vizinho (Spel), obteve-se valores de CBR na ordem de 20%, sendo assim por falta de ensaios utilizaremos um fator de segurança igual 2, caracterizando um CBR igual a 10%. Sendo assim:

$$CBR=10\%$$

As instruções citada acima apresenta dois tipo de procedimento para o dimensionamento de pavimentos intertravados. O que determina o uso de um ou outro procedimento é o tráfego imposto ao pavimento. Em sua página 111 o IP-06 aconselha o uso do *procedimento "A"* para determinação das espessuras das camadas do pavimento para um tráfego leve.

De acordo com os ensaios de compressão, mostrados no quadro 1, pode-se observar que o pavimento utilizado obteve uma resistência de 35,6 Mpa, estando, assim, dentro da Norma NBR-9781, que define a resistência às solicitações de veículos comerciais de linha.

Determinação das espessuras das camadas do pavimento:

- Espessura total = 38,0 cm;
- Base em BGS = 10 cm
- Sub-base em material granular CBR $\geq 20\%$ = 15,0 cm;
- Areia de assentamento = 5,0 cm;
- Peça pré-moldada de concreto = 8,0 cm.

Quadro 1 – Ensaios de compressão.

CONSULTEC ENGENHARIA LTDA CNPJ: 40.990.921/0001-63 Insc. Est. 20.037.903-8 Insc. Mun. 123.839-6 Rua: Dr. José Gonçalves, 146 CEP: 59.056-370 Lagoa Nova Natal/RN Fone: (084) 3222.9338 Cel.: (084) 99978.2580 E-mail: consultecengenharia@hotmail.com							
RELATÓRIO DE ENSAIO EM PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO							
RELATÓRIO Nº:	93.58D-PP/461.001/ECOJ.BP						
ENSAIO:	Determinação da resistência à compressão de peças de concreto para pavimentação.						
NORMA DE REFERÊNCIA:	ABNT NBR 9781-Peças de concreto para pavimentação - especificação e métodos de ensaio.						
INTERESSADO:	Ecomax Jacumã Empreendimentos Imobiliários Ltda. Eng. Adriano Sousa.						
OBRA:	Condomínio Bosque da Praia. Rod. RN 306, S/N. Praia de Jacumã. Ceará-Mirim/RN.						
1. DISCRIMINAÇÃO DO MATERIAL. PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO.							
DESCRIÇÃO DAS PEÇAS:	Peças de concreto para pavimentação para piso Intertravado.						
LOTE/REFERÊNCIA:	93/L89 (pigmentado-vermelho)			TAMANHO DA AMOSTRA:	06 Peças		
AMOSTRA:	01			DATA DE FABRICAÇÃO:	13/09/16		
PROCEDÊNCIA:	P & B Pré-moldados			DATA DE RECEBIMENTO:	07/11/16		
DIM. NOMINAIS DAS PEÇAS:	10 X 20 X 6 cm			DATA DOS ENSAIOS:	10/11/16		
	Paralelepípedo			IDADE DAS PEÇAS (dias):	58		
2. RESULTADOS DOS ENSAIOS							
DIMENSÕES REAIS E RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO							
CP	LARGURA (l) cm	COMPRIM. (c) cm	ESPESSURA (e) cm	CARGA DE RUPTURA kg	ÁREA DE ENSAIO cm ²	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (f _{cp}) MPa	
Nº							
01	9,8	19,7	6,5	23780	56,74	39,8	
02	9,8	19,8	6,6	21030		35,2	
03	9,9	19,7	6,3	20710		34,7	
04	9,8	19,7	6,5	22670		38,0	
05	9,8	19,8	6,2	25480		42,7	
06	9,8	19,8	6,4	23730		39,7	
Resistência média das peças. f _{cp} Média (MPa):						38,4	
Desvio Padrão. Sd (MPa):						3,04	
Coeficiente de variação CV (%):						7,9	
Resistência característica estimada à compressão f _{pk,est.} (MPa):						35,6	
3. CONCLUSÕES:							
A amostra apresentou resistência característica estimada à compressão (f _{pk,est.}) igual a 35,6 MPa e satisfaz, portanto, ao valor mínimo estabelecido pela NBR 9781.							
4. EXIGÊNCIAS DA NORMA NBR 9781:							
RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS (Fpk):	Maior ou igual 35 MPa, para as solicitações de veículos comerciais de linha.						
	Maior ou igual 50 MPa, quando houver tráfego de veículos especiais ou solicitações capazes de produzir acentuados efeitos de abrasão.						
	Os lotes de peças de concreto entregues ao cliente com idade inferior a 28 dias devem apresentar no mínimo 80 % do Fpk especificado acima (35 ou 50 MPa), no momento de sua instalação, sendo que aos 28 dias ou mais de idade de cura, o Fpk deve ser igual ou superior ao especificado.						
5. OBSERVAÇÕES							
Os resultados apresentados acima se referem exclusivamente ao lote representado pela amostra ensaiada. Amostra coletada e fornecida pelo interessado.							
Natal (RN), 10 de novembro de 2016.				Visto:  José Eurico de Queirós Eng. Civil CREA 2106203918			

Fonte: Relatório ECOMAX (2012).

3.3 PROJETO DE DRENAGEM

O projeto atendeu às necessidades locais com critérios técnicos, econômicos e ambientais, aplicados a esta parte da engenharia sanitária. As soluções adotadas baseiam-se no estudo hidrológico da região, e são determinantes no projeto de drenagem que irá definir a coleta, o encaminhamento e a destinação final das águas provenientes das precipitações pluviométricas, e que escoam pelas áreas impermeabilizadas do condomínio, evitando com isto enxurradas, erosões, carreamento de materiais, e aumentando o controle da chamada poluição difusa advinda do processo de urbanização.

A solução de drenagem para as águas superficiais propostas neste projeto foi encaminhar as águas por um sistema de galerias até uma lagoa de acumulação localizada no ponto mais baixo do empreendimento.

As águas superficiais provenientes das precipitações em forma de chuva escoarão pelas sarjetas das ruas até serem captadas por bocas de lobo que encaminharão as águas para galerias que conduzirão as águas pluviais para lagoa de acumulação. Atingindo o volume máximo de acumulação desta superfície, a vazão de chegada irá verter através de um vertedouro localizado a sudoeste da lagoa de acumulação, fazendo com que as águas pluviais sigam o mesmo curso natural a jusante do condomínio.

A figura 15 mostra a imagem do vertedouro. Na sequência a figura 16 apresenta a galeria e a figura 17 o interior da galeria.

Figura 15 – Vertedouro.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2018).

Figura 16 – Galeria.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2018).

Figura 17 – Interior da galeria.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2018).

Esta superfície de acumulação foi dimensionada baseada na *Best Management Practices* (BMP) que reduz em 80% a quantidade de sólidos suspensos nas águas em 90% dos casos. Esta solução prevê um dimensionamento de um reservatório que armazene um volume (WQv) capaz de suportar os primeiros 25 mm precipitados sobre a área da bacia. Este método é denominado First Flush. A Figura 18 traz uma imagem da superfície de acumulação.

Figura 18 – Superfície de acumulação.



Fonte: Acervo pessoal do autor (2018).

3.4 MEMORIAL DE CÁLCULO

No presente estudo adotaram-se as seguintes premissas:

- Descargas de Projeto para galerias:

Admitiu-se o emprego do Método Racional, dada pela equação:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Q = em m³/s é o valor da vazão de pico;

C = é o coeficiente de *run-off* ou de escoamento;

I = é a intensidade de chuva em mm/h;

A = representa a área da bacia de contribuição a ser drenada em hectares;

“360” = fator de conversão de unidades.

No presente caso, adotou-se os seguintes valores para o *run-off* (**C**):

C = 0,90 nas calçadas (passeios);

C = 0,90 nas vias pavimentadas com concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ);

C = 0,40 nas áreas dos lotes, considerando que apenas 40% da área dos lotes escoarão para vias;

C = 0,20 nas áreas de jardins.

No quadro 2 destaca-se o intervalo dos valores do coeficiente (C) relacionados às superfícies asfaltadas e em bom estado e calçadas, e que foi adotado para o memorial de cálculo.

Quadro 2 – Valores do coeficiente (C).

Natureza da superfície	Valores de C
Telhados perfeitos, sem fuga	0,70 a 0,95
Superfícies asfaltadas e em bom estado e calçadas	0,85 a 0,90
Pavimentações de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas	0,75 a 0,85
Para as superfícies anteriores sem as juntas tomadas	0,50 a 0,70
Pavimentações de blocos inferiores sem as juntas tomadas	0,40 a 0,50
Estradas macadamizadas	0,25 a 0,60
Estradas e passeios de pedregulho	0,15 a 0,30
Superfícies não revestidas, pátios de estrada de ferro e terrenos descampados	0,10 a 0,30
Parques, jardins, gramados e campinas, dependendo da declividade do solo e natureza do subsolo	0,01 a 0,20

Fonte: Relatório ECOMAX (2012).

Para a intensidade de chuva em mm/h “I” foram adotados os valores apresentados no quadro 3.

Quadro 3 – Intensidade, duração, frequência.

Intensidade X Duração X Frequência					
Posto: Natal /RN					
Duração (min.)	Intensidade (mm/h)				
5	104,18	118,78	131,17	149,54	165,14
10	88,19	100,55	111,04	126,59	139,79
15	77,40	88,25	97,45	111,10	122,68
20	69,52	79,26	87,53	99,79	110,20
30	58,63	66,85	73,82	84,16	92,93
60	41,98	47,86	52,86	60,26	66,54
120	28,94	33,00	36,44	41,54	45,87
Frequência (Tr em anos)	2	5	10	25	50

Fonte: Relatório ECOMAX (2012).

Para “A” utilizou-se de sistema CAD para medir as áreas totais, obtendo-se o resultado apresentado no quadro 4:

Quadro 4 – Resultado da medição da área total.

Área Total da Bacia de Contribuição (m²)	
Descrição	Áreas (m²)
Vias + Calçadas	24.196,63
Lotes	91.630,8
Áreas Verdes	20.301,06
Total	136.128,50

Fonte: Relatório ECOMAX (2012).

3.5 PARECER FINAL

O tipo de pavimento utilizado (blocos intertravado de concreto) no condomínio estudado, apesar de possuir a resistência necessária à compressão, é o tipo de pavimento com menor capacidade de infiltração e sua permeabilidade pode chegar a metade do valor original após cinco anos de vida.

Por essa razão, foi usado o “C” (coeficiente de escoamento) de 0,85, representando que o pavimento é praticamente impermeável.

Ao analisar a fórmula do Método Racional:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{360}$$

Q = em m³/s é o valor da vazão de pico;

C = é o coeficiente de *run-off* ou de escoamento;

I = é a intensidade de chuva em mm/h;

A = representa a área da bacia de contribuição a ser drenada em hectares;

“360” = fator de conversão de unidades;

E considerando uma possível chuva com duração de 20 min e frequência de 2 anos ($i=69,52$ mm/h), em uma área de 24.196,63 m²(vias+calçadas), pôde-se calcular a vazão do condomínio:

$$Q = \frac{0,85 \times 69,52 \times 2,419}{360}$$

$$Q = 0,397 \text{ m}^3/\text{s}$$

Usando a mesma formula, para um pavimento de CBUQ (Concreto betuminoso usinado a quente), que apresenta um escoamento superficial $C=0,90$, obtemos o seguinte valor de Vazão:

$$Q = \frac{0,90 \times 69,52 \times 2,419}{360}$$

$$Q = 0,420 \text{ m}^3/\text{s}$$

Agora, calculando a mesma equação e utilizando um pavimento permeável que permita que uma boa quantidade de água infiltre no solo, como, por exemplo, os pavimentos de bloco vazado de concreto, que apresenta um coeficiente de escoamento superficial $C= 0,04$, obtem-se a seguinte vazão:

$$Q = \frac{0,04 \times 69,54 \times 2,419}{360}$$

$$Q = 0,018 \text{ m}^3/\text{s}$$

De posse dos cálculos realizados, em linhas gerais constatou-se que a pavimentação intertravada com blocos de concreto vazados (que possuem o índice de escoamento superficial baixo, por permitir que a água infiltre no solo), pode ser considerada uma alternativa viável na redução do volume do escoamento superficial das águas de chuva e conseqüentemente da vazão de pico, causando uma redução da solicitação do sistema de drenagem e diminuindo os impactos sobre a quantidade e qualidade da água (poluição difusa), se constituindo em uma solução sustentável no manejo das águas pluviais.

4 CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho consistiu em comparar, através de um estudo de caso, o uso do pavimento intertravado de concreto com o pavimento intertravado permeável, observando-se qual deles oferece o menor escoamento superficial de águas pluviais.

Sendo assim, tem-se que os pavimentos intertravados de concreto são amplamente utilizados devido ao aspecto estético que proporcionam nas calçadas e que resistem aos esforços à compressão gerados pelo tráfego de veículos. Entretanto, trata-se do tipo de pavimento com menor capacidade de infiltração, solicitando um sistema de drenagem capaz de destinar uma vazão de pico elevada.

Por outro lado, em um pavimento intertravado permeável que possui coeficiente de escoamento baixo e permite a infiltração da água no solo através dos espaços livres em sua estrutura, recriando condições hidrológicas naturais, reduzindo as descargas de água evitando sobrecargas no sistema de drenagem, melhorando a qualidade e quantidade da água do aquífero, além de reduzir a necessidade de grandes infraestruturas e bacias de retenção.

Após o resultado dos cálculos efetuados, conclui-se que o pavimento utilizado no condomínio estudado não demonstrou eficiência no quesito de infiltração/redução do escoamento superficial, pois sua vazão de pico foi praticamente a mesma no pavimento de CBUQ. Enquanto que se tivessem sido usados blocos vazados de concreto em praças, estacionamentos e vias de pedestre, poderia gerar uma redução na formula do método racional da vazão, e consequentemente uma redução no dimensionamento do sistema de drenagem.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, P.R.; TUCCI, C.E.M.; GOLDENFUM, J.A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. **RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, jul./set., 2000. p. 21-29.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). Execução e manutenção de pavimento intertravado. 2008. Disponível em: <<http://www.rpu.org.br/Pavimento%20intertravado%20%20execu%C3%A7%C3%A3o%20e%20manuten%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2018.

_____. **NBR 15953** – Pavimento intertravado com peças de concreto – execução. 2011.

_____. **NBR 16416** – Pavimentos permeáveis – requisitos e procedimentos. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 9781** – Peças de concreto para pavimentação – especificação e métodos de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 9895** – Solo – Índice de Suporte Califórnia. Disponível em: <<http://files.ilcoribeiro.webnode.com.br/200000088-bb70ebc6d0/NBR%209895.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2018.

ECOMAX. **Relatório de projeto, terraplanagem, drenagem e pavimentação**. Condomínio Residencial Bosque da Praia. Abril de 2012.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2006.

GODINHO, D.P.; GROSSI, L.C. **Como construir pavimentos de concreto intertravados**. Publicado em 2002. Disponível em: <<http://www.piniweb.com.br/construcao/noticias/pavimentos-deconcreto-intertravados-80764-1.asp>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

HALLACK, A. Pavimento intertravado: uma solução universal. **Revista Prisma – soluções construtivas com pré-fabricados de concreto**, 2001. Disponível em: <<http://www.revistaprisma.com.br/novosite/noticia.asp?cod=107>>. Acesso em: 05 mar. 2018.

INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE (ICPI). **Structural design of interlocking concrete pavement for roads and parking lots**. 2011. Disponível em: <<http://www.icpi.org/techspec/1027/display/?key=1185>>. Acesso em: 04 mar. 2018.

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

MARCHIONI, M.; SILVA, C.O. **Pavimento intertravado permeável** – melhores práticas. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011.

NABESHIMA, C.K.Y.; ORSOLIN, K.; SANTOS, R.K.X. **Análise comparativa entre sistemas de pavimentação urbana baseados em concreto asfáltico e blocos de concreto intertravados (pavers)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/386/1/CT_EPC_2011_2_02.PDF>. Acesso em: 03 mar. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL de Porto Alegre. Departamento de Esgotos Pluviais. **Plano Diretor de drenagem urbana**: manual de drenagem urbana. Porto Alegre, 2000.

TUCCI, C.E.M. Gerenciamento da drenagem urbana. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, jan/mar., 2002, p. 5-27.

VIRGILIIS, L.A.C. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.