



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Rafael Rocha da Silva

EMPREGO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL NA ATENUAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Palmas – TO

2019

Rafael Rocha da Silva

**EMPREGO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL NA ATENUAÇÃO DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Tailla Alves Cabral Brito

Palmas – TO

2019

Rafael Rocha da Silva

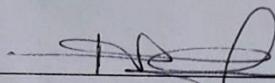
EMPREGO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL NA ATENUAÇÃO DO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Tailla Alves Cabral Brito

Aprovado em: 16 / 05 / 2019

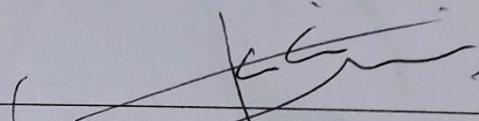
BANCA EXAMINADORA



Prof. Esp. Tailla Alves Cabral Brito

Orientador

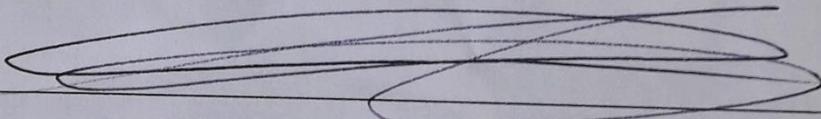
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Msc. Hider Cordeiro de Moraes

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Msc. Murilo de Pádua Marcolini

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

À minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. Mãe, seu cuidado e dedicação, em alguns momentos, proveu coragem para seguir em frente. Pai, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter guiado meu caminho até este momento e cuidar de mim durante todo esse ciclo.

Agradeço a família, em especial aos meus pais Gilson e Eleny e ao meu irmão Rangel, que não mediram esforços para me apoiar durante todos esses anos, proporcionando as condições necessárias para obter mais essa conquista.

A professora Tailla, pelo empenho, paciência, orientação e dedicação durante todo o trabalho, emprestando o seu conhecimento e sua experiência para a conclusão desse trabalho.

Aos amigos e colegas, que durante toda a graduação permaneceram presentes, colaborando e compartilhando todos os momentos difíceis que o curso proporcionou.

RESUMO

SILVA, Rafael Rocha da. **Emprego do pavimento permeável na atenuação do escoamento superficial**. 2019. 46p. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas - TO.

A crescente urbanização das cidades interfere diretamente no aumento do escoamento superficial, isso ocorre devido ao excesso de áreas impermeáveis. As soluções propostas pelos governantes geralmente envolvem medidas estruturais que alteram o meio físico e apenas transferem as enchentes para a jusante. O **pavimento permeável** surge neste contexto com o intuito de atenuar os efeitos causados pelas chuvas e resgatar as condições de infiltração próximas a do solo natural. Para a avaliação da eficiência do dispositivo de infiltração foi utilizado o modelo matemático do Método Racional, que visa quantificar as vazões máximas geradas por cada pavimento em um determinado período de retorno. O estudo consistiu em simulações de chuvas no Shopping Capim Dourado na quadra 107 situada no Plano Diretor Norte de Palmas - TO, foram avaliados cinco tipos de superfícies: concreto poroso, asfalto poroso, bloco vazado de concreto, concreto convencional e asfalto convencional. Analisando os resultados obtidos percebe-se que o que apresentou melhor desempenho no amortecimento das vazões máximas foi o pavimento de concreto poroso, com uma redução de aproximadamente 39,72% do escoamento superficial em relação ao asfalto convencional. Ao término dos estudos foi possível concluir que o pavimento permeável interfere diretamente na redução do escoamento superficial e como consequência contribui na melhoria dos sistemas de drenagens urbanos e na diminuição dos riscos de enchentes.

PALAVRAS CHAVE: Urbanização. Escoamento Superficial. Pavimento Permeável.

ABSTRACT

SILVA, Rafael Rocha da. The use of permeable pavement in the attenuation of surface runoff. 2019. 46p. Conclusion of the Civil Engineering Course of the Luterano University Centro Universitário Luterano de Palmas. Palmas - TO.

The increasing urbanization of the cities directly interferes in the increase of the surface runoff, this is due to the excess of impermeable areas. The solutions proposed by the rulers usually involve structural measures that alter the physical environment and only transfer the floods to the downstream. The **permeable pavement** appears in this context with the intention to mitigate the effects caused by the rains and to rescue the infiltration conditions close to the natural soil. In order to evaluate the efficiency of the infiltration device, the mathematical model of the Rational Method was used to quantify the maximum flows generated by each pavement in a given period of return. The study consisted of rainfall simulations at the Capim Dourado Mall in block 107 located in the Northern Master Plan of Palmas, TO. Five types of surfaces were evaluated: porous concrete, porous asphalt, concrete block, conventional concrete and conventional asphalt. Analyzing the results obtained, it can be seen that the one that presented the best performance in the damping of the maximum flows was the porous concrete pavement, with a reduction of approximately 39.72% of the surface flow in relation to the conventional asphalt. At the end of the studies it was possible to conclude that the permeable pavement interferes directly in the reduction of surface runoff and as a consequence contributes to the improvement of urban drainage systems and the reduction of flood risks.

KEY-WORDS: Urbanization. Surface runoff. Permeable pavement.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Efeitos das Chuvas em Superfícies Impermeáveis e Permeáveis (DALEY, 2010, p.10).....	15
Figura 2 - Seção Transversal Típica do Pavimento (adaptado de KUMAR, 2014, p.26).....	17
Figura 3 - Seção Transversal do Pavimento Permeável (KUMAR, 2014, p.26).	17
Figura 4 - Sistema de Infiltração Total (Adaptado de Schueler, 1987, apud PINTO, 2011, p.31).	19
Figura 5 - Sistema de Infiltração Parcial (Adaptado de Schueler, 1987, apud PINTO, 2011, p.31).....	20
Figura 6 – Sistema de Infiltração para Controle da Qualidade da Água (Adaptado de Schueler, 1987, apud PINTO, 2011, p. 31).	20
Figura 7 - Bloco Vazado de Concreto (KUMAR, 2014, p. 25).....	21
Figura 8 - Pavimento de Asfalto Convencional e Pavimento de Asfalto Poroso (G1 GLOBO, 2010, <i>online</i> min 04:45).	23
Figura 9 - Concreto Permeável (KUMAR, 2014, p. 24).	24
Figura 10 - Planta de Implantação Shopping Capim Dourado (AutoCAD, 2014).....	29
Figura 11 - Equação de Chuvas Intensas de Palmas - TO (Pluvio 2.1, Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos DEA/UFL, 2006).....	33
Figura 12 - Setorização do Shopping Capim Dourado (adaptado de GOOGLE MAPS, 2019, <i>online</i>).	35
Figura 13 - Gráfico de Vazão Máxima por Pavimento.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo de Retorno para Sistemas Urbanos (PARANÁ, 2002, p. 28).	30
Tabela 2 - Valores do Coeficiente de Escoamento (C) para o Concreto e Asfalto Convencional (ASCE, 1969, apud TUCCI, 2000, p. 542).....	30
Tabela 3 - Coeficiente de Escoamento do Asfalto Poroso (adaptado de ACIOLI, 2005, p. 101).	31
Tabela 4 - Coeficiente de Escoamento (C) do Concreto Poroso, Blocos Vazados de Concreto e Solo Compactado (adaptado de ARAÚJO, <i>et al</i> , 2000, p. 27).....	32
Tabela 5 - Áreas de Acordo com a Setorização do Shopping Capim Dourado.....	36
Tabela 6 – Valores de Coeficientes e Áreas	36
Tabela 7 - Coeficientes Médios de Escoamento.....	38
Tabela 8 - Resultados Obtidos pela Simulação das Vazões.	40
Tabela 9 - Reduções das Vazões em Função do Asfalto Convencional.....	40
Tabela 10 - Desempenhos em Função do Concreto Poroso	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
NBR	Norma Brasileira
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.2 HIPÓTESES	13
1.3 OBJETIVOS	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
1.4 JUSTIFICATIVA	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS	15
2.1.1 Estrutura dos Pavimentos Permeáveis	17
2.1.2 Tipos de Pavimentos	18
2.1.2.1 Sistema de Infiltração Total	19
2.1.2.2 Sistema de Infiltração Parcial	19
2.1.2.3 Sistema de Infiltração para Controle da Qualidade de Água	20
2.1.3 Opções de Revestimento	21
2.1.3.1 Blocos Vazados de Concreto	21
2.1.3.2 Asfalto Poroso	22
2.1.3.3 Concreto Poroso	23
2.1.4 Vantagens e Desvantagens	24
2.2 PAVIMENTO IMPERMEÁVEL	25
2.2.1 Opções de Revestimento	26
2.2.1.1 Concreto Convencional	26
2.2.1.2 Asfalto Convencional	26
2.3 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS	27
2.3.1 Área de Drenagem (A)	27
2.3.2 Período de Retorno (T)	27
2.3.3 Tempo de Concentração (t_c)	27
2.3.4 Intensidade da Chuva de Projeto (I)	27
2.3.5 Coeficiente de Escoamento Superficial (C)	27
2.3.6 Vazão de Projeto (Q)	28
3. METODOLOGIA	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1 CÁLCULO DAS ÁREAS	35

4.2 CÁLCULO DOS COEFICIENTES	36
4.2.1 Coeficiente de Escoamento Superficial para o Asfalto Convencional	37
4.2.2 Coeficiente de Escoamento Superficial para o Concreto Convencional.....	37
4.2.3 Coeficiente de Escoamento Superficial para o Asfalto Poroso.....	37
4.2.4 Coeficiente de Escoamento Superficial para o Concreto Poroso	37
4.2.5 Coeficiente de Escoamento Superficial para os Blocos Vazados de Concreto com Preenchimento de Vegetação Gramínea.....	38
4.2.5 Coeficientes Médios de Escoamento	38
4.3 VAZÃO MÁXIMA	38
4.3.1 Vazão Máxima Utilizando Asfalto Convencional.....	39
4.3.2 Vazão Máxima Utilizando Concreto Convencional	39
4.3.3 Vazão Máxima Utilizando Concreto Poroso.....	39
4.3.4 Vazão Máxima Utilizando Bloco Vazado de Concreto com Preenchimento de Vegetação Gramínea	39
4.3.5 Vazão Máxima Utilizando Asfalto Poroso	39
4.3.6 Vazões Máximas Resultantes.....	39
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	42
REFERÊNCIAS	43

1. INTRODUÇÃO

O crescimento de forma desordenada e a falta de gestão de cidades brasileiras causou um processo de urbanização precário, fazendo com que os municípios não possuam infraestrutura necessária para suprir as necessidades da população. Existe um interesse coletivo na melhoria dos serviços básicos de uma sociedade, ocorrendo que muitas vezes os aspectos econômicos ou tecnológicos de uma cidade podem inviabilizar a implantação de estruturas para melhorar o dia a dia da população. Os principais setores que são afetados pela falta de investimento são os relacionados aos recursos hídricos, as vias de circulação e o transporte público.

A ocupação de novas áreas causou impactos ambientais, já que a retirada de vegetação e a ocupação do solo geram a impermeabilização de espaços que antes eram zonas de infiltração. O principal impacto causado por essa mudança de comportamento dos espaços é a formação de inundações já que a capacidade natural de armazenamento do solo e o escoamento das águas nas bacias foram influenciados.

Na medida que a taxa de ocupação de determinada região foi crescendo foram surgindo problemas como enchentes, alagamentos e enxurradas. Isso ocorre devido as políticas públicas ineficientes no manejo das vazões de águas das chuvas.

A vazão no meio urbano tem aumentado devido a ocupação do solo e a retirada da vegetação levando a impermeabilização da superfície, aumentando o escoamento superficial, interrompendo o ciclo hidrológico e trazendo prejuízos socioeconômicos. O aumento do escoamento superficial também causa problemas a bacia hidrográfica, já que muitas vezes ela não tem capacidade para suportar o volume de águas provocando impactos ambientais a todos os dependentes do recurso hídrico da bacia.

Com uma grande demanda de vazão gerada pela impermeabilização do solo, são necessárias medidas mitigantes para evitar enchentes. Para Souza (2013, p. 59),

Os sistemas de drenagem urbana no Brasil sempre se basearam na busca do sistema hidraulicamente mais eficiente. Focado em uma visão higienista, a noção do saneamento (no sentido de tornar o ambiente são) representa a necessidade de “sempre drenar”, criando estruturas de micro e macrodrenagem para conduzir a água para fora das cidades.

De acordo com Tucci e Marques (2000 p. 126), “A drenagem urbana representa hoje uma fonte importante de prejuízos para a população das cidades, devido as frequentes inundações, ao tráfego interrompido e à deterioração ambiental.”, sendo assim, as cidades são

obrigadas a criarem soluções para reverter os prejuízos. Essas soluções são caracterizadas como medidas de controle que buscam diminuir os efeitos da falta de drenagem urbana.

O entendimento de medidas de controle geralmente está ligado com as compensações em forma de estruturas hidráulicas de transporte que drenam as águas e depositam nas jusantes das bacias hidrográficas, dessa forma, o problema é apenas transportado para outras áreas. Sabendo disso, é possível criar soluções tecnológicas onde esses efeitos possam ser reduzidos, buscando resgatar as condições naturais dos solos, auxiliando no aumento de infiltração e proporcionando um sistema de controle do volume de água que escoar superficialmente. Ambientes como praças públicas, estacionamentos, jardins e outros locais, são possíveis zonas de retardamento de enchente, pois, podem possuir eventuais áreas drenantes.

Em Palmas, devido ao aumento rápido da área urbanizada e sucessivamente a impermeabilização das ruas, avenidas e edificações, ocorreu o acréscimo de águas pluviais no escoamento superficial, sendo assim, o sistema de drenagem municipal tenta acompanhar as vazões atuais a partir da ampliação da rede de drenagem urbana e a distribuição da vazão de drenagem, porém existem alguns problemas quanto a ordenação da drenagem que dificulta a implantação de um sistema mais eficiente e que ocasione menos problemas a sociedade.

Segundo (PALMAS, 2014, p. 30) os principais fatores que contribuem para as enchentes em Palmas são:

- Deficiência de macrodrenagem ou ineficácia de drenagem em pontos ou locais de descarga de fluxo;
- Lançamento de águas pluviais diretamente na via pública;
- Falta de um projeto municipal de prevenção e monitoramento de inundações;
- Estruturação da pavimentação urbana, com todos os elementos.

Uma medida para atenuar o problema de impermeabilidade do solo é a utilização do pavimento permeável, que busca aumentar a quantidade de água infiltrada sem comprometer a aplicação do pavimento. Sendo assim, Maruyama e Franco (2016, p. 75) afirma que o “pavimento permeável possui projeto e características que têm como um dos objetivos a infiltração da água da chuva e o amortecimento de pico de cheia na jusante da bacia em que o pavimento está inserido.”

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

As inundações nas cidades são resultantes da grande intensidade ou frequência das precipitações pluviométricas que passam a exigir maior solicitação de drenagem das bacias. Como cessar ou atenuar os impactos causados pelas enchentes nas áreas urbanas sem grandes intervenções e alterações ao espaço físico?

1.2 HIPÓTESES

A aplicação de novas tecnologias de pavimentos pode aumentar a quantidade de água pluvial que é infiltrada no solo, causando redução do volume de águas lançadas na rede de drenagem e evitando impactos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar o pavimento permeável como medida não estrutural para proporcionar a redução do volume escoado e amenizar o efeito das enchentes.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar os conceitos de pavimento permeável;
- Definir quais os tipos de revestimento para o pavimento;
- Simular o escoamento superficial no Shopping Capim Dourado localizado na quadra 107 Norte através do Método Racional utilizando a equação de chuvas intensas de Palmas - TO;
- Avaliar as condições de escoamento no pavimento permeável em relação à superfície impermeável;
- Apresentar o percentual de redução do volume escoado através dos pavimentos;
- Identificar o pavimento que apresenta a maior redução de escoamento.

1.4 JUSTIFICATIVA

De acordo com o crescimento das cidades e o processo de urbanização avançando sobre o meio ambiente, começou a surgir novas necessidades no meio urbano, já que, os antigos conceitos de organização e bem-estar social não eram mais aceitos pela sociedade, criando novas concepções higienistas, racionais, normatizadas e abordando a importância da ciência e o ambiente como soluções para questões diárias. Braga et al. (1998, p. 17) afirmam sobre o processo de urbanização,

O acelerado ritmo da urbanização, produzindo muitas cidades com centenas de milhares de habitantes, condicionou o enfoque dado no Brasil caracterizado por uma maior preocupação com a hidrologia urbana de bacias de porte, isto é, com aspectos de macrodrenagem.

Tucci e Marques (2000 p. 351) diz que,

As ações públicas para as soluções desses problemas no Brasil estão voltadas, na maioria das vezes, somente 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 sem que se avaliem os reais benefícios da obra.

A partir da modernização na drenagem urbana existiu uma procura por novas tecnologias que possibilitem aumento de infiltração e retardo do escoamento superficial. São inovações que possibilitam controle sobre as zonas de deflúvio elevado.

O pavimento permeável é uma possível solução para amenizar problemas com inundações, garantindo maior capacidade de infiltração em relação aos pavimentos convencionais de asfalto, contribuindo para obter menor quantidade de escoamento e acúmulo de água superficial. Essa técnica é um sistema construtivo não estrutural e sustentável, que promove economia reduzindo os custos de drenagem pluvial.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os conceitos apresentados nessa seção serão referentes a pavimento permeável, assim como suas estruturas, tipos de pavimentos, opções de revestimentos aplicadas no sistema e as vantagens e desvantagens da utilização do método.

2.1 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

O desenvolvimento populacional desordenado nas zonas urbanas causou problemas com a gestão das cidades, entre eles existe a impermeabilização do solo o que causa um desequilíbrio do ciclo hidrológico, pois, áreas antes ocupadas por vegetação passaram a ser impermeabilizadas fazendo com que grande parcela da água pluvial seja escoada. A Figura 1 ilustra o efeito das chuvas em superfícies impermeáveis em comparação a superfícies permeáveis.

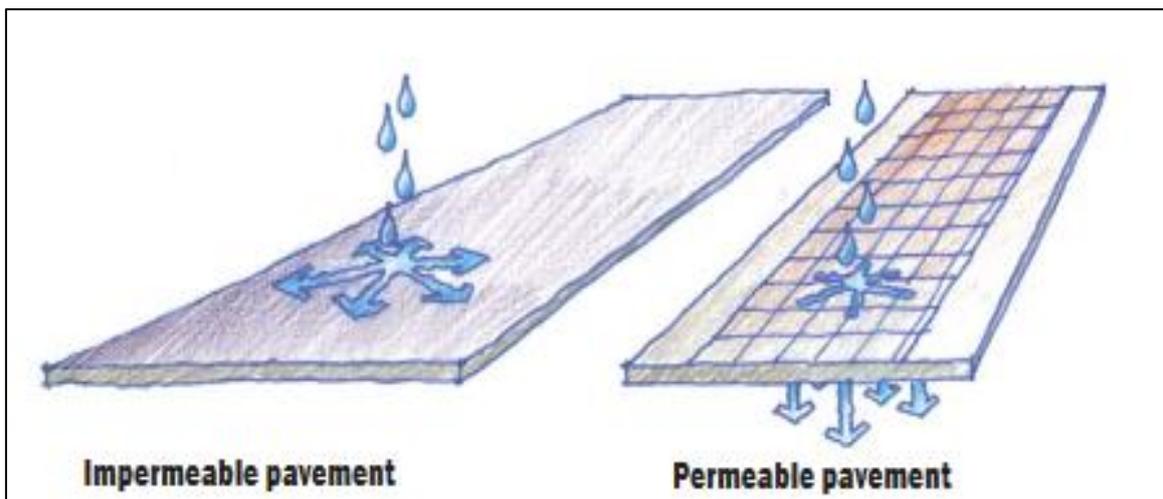


Figura 1 - Efeitos das Chuvas em Superfícies Impermeáveis e Permeáveis (DALEY, 2010, p.10).

Assim como na Figura 1, os pavimentos permeáveis auxiliam a infiltração das águas diminuindo a contribuição da pavimentação para o escoamento superficial. A falta de sistemas drenantes causa o aumento do volume de águas que por sua vez, quando não atendida por iniciativas de drenagem adequadas levam a inundações.

As atividades urbanas acabam interferindo diretamente na qualidade dessa água que está sendo escoada juntamente com resíduos sólidos e esgotos em vários casos, essa água acaba

sendo depositada diretamente na bacia pelo sistema de drenagem que deveria apenas levar a água pluvial (TUCCI, 2008, p. 10 e 11).

Buscando diminuir problemas citados anteriormente são soluções não estruturais para que se possa amortecer a quantidade do fluxo de água que vai ser escoada, a utilização de dispositivos que proporcionem o aumento nas taxas de infiltrações e o retardo do escoamento. Um exemplo desse tipo de dispositivo é o pavimento permeável, que tem como funcionalidade reduzir o escoamento superficial e amortecer as vazões máximas, sua eficácia na impermeabilização pode ser idêntica à de um solo em condições naturais.

Pavimentos permeáveis são dispositivos de contenção na origem, que atuam na limitação da produção do escoamento superficial, permitindo que a água pluvial passe através deles, diminuindo desse modo o escoamento superficial e viabilizando a filtração de alguns poluentes, os quais são lavados durante um evento chuvoso (ANDRADE et al., 2000).

Tucci (2000, p. 352) conceitua pavimento permeável como um “dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno”.

Já Costa Junior e Barbassa (2006 p. 47) conceitua os pavimentos permeáveis como,

superfícies porosas ou perfuradas que permitem a infiltração de parte do escoamento superficial, para dentro de uma camada de reserva situada sob o terreno, formada por pedras de granulometria diferenciada, que será absorvida pelo solo, a qual deve ser adequadamente protegida contra colmatação.

Sobre a utilização do pavimento permeável os autores Tucci, Goldenfum e Araujo (2000, p. 22) descrevem que em um contexto geral,

pode proporcionar uma redução dos volumes escoados e do tempo de resposta da bacia para condições similares ou até mesmo, dependendo das características do subsolo, condições melhores que as de pré-desenvolvimento, desde que seja utilizado racionalmente, respeitando seus limites físicos, e desde que seja conservado periodicamente (trimestralmente) com uma manutenção preventiva, evitando assim o seu entupimento.

Para o pavimento permeável atender o desempenho ao qual foi destinado é necessário que o solo atenda alguns requisitos. Tucci (2000, p. 356) afirma que o sistema não é compatível em locais com taxa de infiltração abaixo de 7mm/h, portanto antes de optar pela sua utilização é imprescindível que seja realizado um ensaio para a obtenção desse parâmetro.

2.1.1 Estrutura dos Pavimentos Permeáveis

As camadas físicas dos pavimentos permeáveis são semelhantes ao pavimento convencional, a diferença está na camada superficial e na camada de areia fina que é inserida na formação dos agregados. As figuras 2 e 3 descrevem os diferentes tipos de camadas:

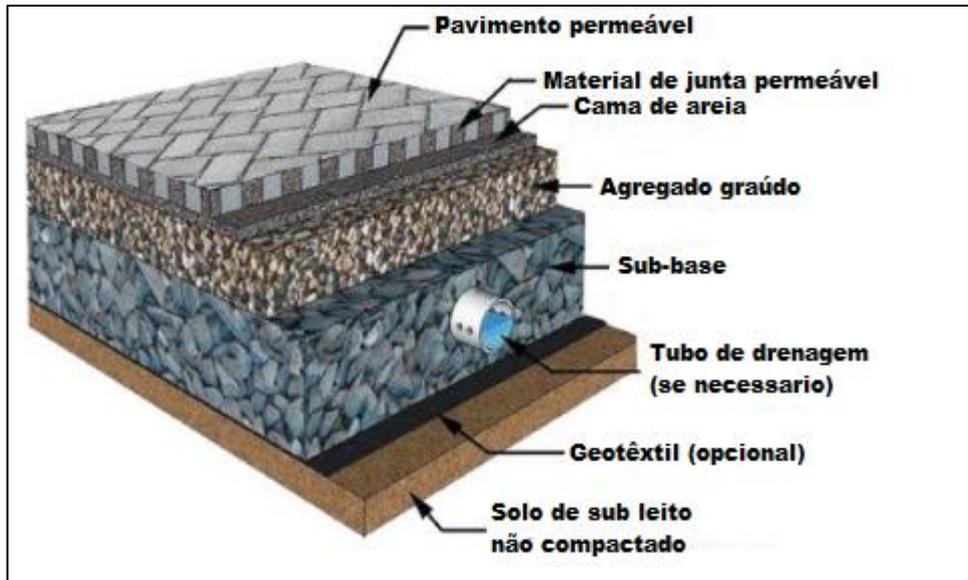


Figura 2 - Seção Transversal Típica do Pavimento (adaptado de KUMAR, 2014, p.26).

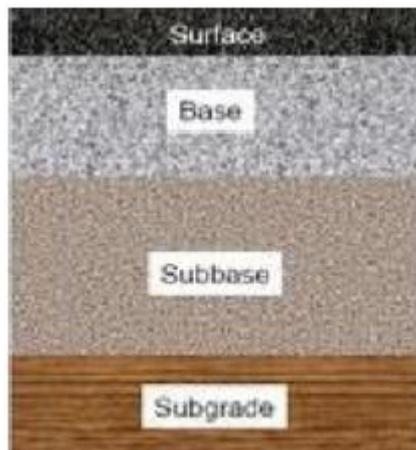


Figura 3 - Seção Transversal do Pavimento Permeável (KUMAR, 2014, p.26).

Os pavimentos permeáveis podem ser compostos por várias camadas agindo de forma contínua para que a infiltração da água seja possível. As quatro principais camadas são revestimento, base, sub-base, subleito. Essas camadas são definidas da seguinte forma:

- Revestimento: é a camada de revestimento superior que permite a infiltração da água de forma rápida, possuindo canais para que a água chegue as camadas adjacentes. Pode ser

composto por materiais como: bloco de concreto, macadame permeável, cascalho, agregado de resina permeável, concreto sem finos e pavimentos de grama ou argila;

- Base: é constituída por duas camadas que são a cama de área e agregado graúdo. A cama de área é onde o revestimento vai ser assentado que tem função de reservar e ajudar a filtrar impurezas da água da chuva. A camada de agregado graúdo é construída com brita e serve de reservatório para água e dar estabilidade para o pavimento.
- Sub-base: é uma camada que vai resistir ao carregamento do pavimento. Essa parte recebe as contribuições da base, para que possa ser drenada ou continuar sendo infiltrado para o subleito. É elaborado com material de granulometria predominantemente maior se comparado com o revestimento e a base. A espessura é determinada a partir do estudo do carregamento disposto no pavimento, material utilizado nas camadas, quantidade de camadas, necessidade de dreno e tamanho do reservatório.
- Subleito: Essa camada é a última onde recebe a água que infiltra na superfície e deve ser compactada de acordo com o que for requerido para obter a estabilidade estrutural. Segundo Urbonas e Stahre (1993) é essencial que o nível do lençol freático esteja a pelo menos 1,20m de distância do fundo do pavimento.

Também é possível utilizar uma camada de geotêxtil entre a sub-base e o subleito, esse incremento quando associado com solo têm a capacidade de reforçar, filtrar, separar, proteger ou drenar. Para o pavimento permeável, geralmente “os geotêxteis atuam como folhas permeáveis e também para fortalecer o solo na superfície de tensão.” Kumar (2014, p. 27).

2.1.2 Tipos de Pavimentos

Os pavimentos permeáveis são classificados em três categorias básicas (Sistema de Infiltração Total, Sistema de Infiltração Parcial e Sistema de Infiltração para Controle da Qualidade da Água), esta separação é feita a partir do seu funcionamento se ele possui entrada direta de água da chuva no pavimento, armazenamento de água na estrutura de reservatório no interior do pavimento ou evacuação de água em pequena velocidade que se dá por infiltração do solo. Essas categorias serão descritas nas seções a seguir:

2.1.2.1 Sistema de Infiltração Total

A água sai apenas pela infiltração no solo. Deve haver um reservatório de material granular grande para acomodar o volume da água da chuva estimado em projeto assim como demonstra a figura 4. Esta solução atenua de forma total a descarga do volume de pico e traz melhoria na qualidade da água, benefícios importantes dentro de uma infraestrutura verde. Mas, somente deve ser usado em locais onde o solo possui boa capacidade de infiltração e sem que haja deposição de materiais na superfície do pavimento potencialmente nocivos aos lençóis freáticos como material vegetal (grama) ou blocos. Também deve ser evitado em áreas de aquíferos fornecedores de abastecimento de água (SUZUKI *et al.*, 2014, apud MARUYAMA; FRANCO, 2016, p. 78).

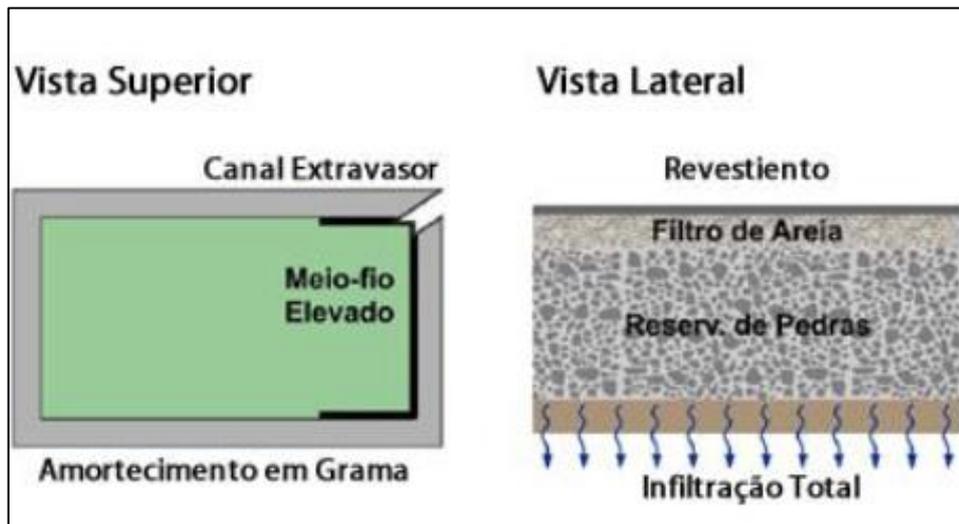


Figura 4 - Sistema de Infiltração Total (Adaptado de Schueler, 1987, apud PINTO, 2011, p.31).

2.1.2.2 Sistema de Infiltração Parcial

Para solos com baixa capacidade de infiltração ou quando o nível do lençol freático é alto (cerca de 1m de profundidade), tal sistema deve ser utilizado. Neste caso é associado a um sistema de drenagem subsuperficial com tubos perfurados localizados na parte inferior do reservatório de brita, assim como demonstra a figura 5. O período de retorno da chuva de projeto deve ser de pelo menos dois anos. Neste caso há atenuação nas enchentes e alagamentos, benefícios importantes num projeto de infraestrutura. (SUZUKI *et al.*, 2014, apud MARUYAMA; FRANCO, 2016, p. 78).

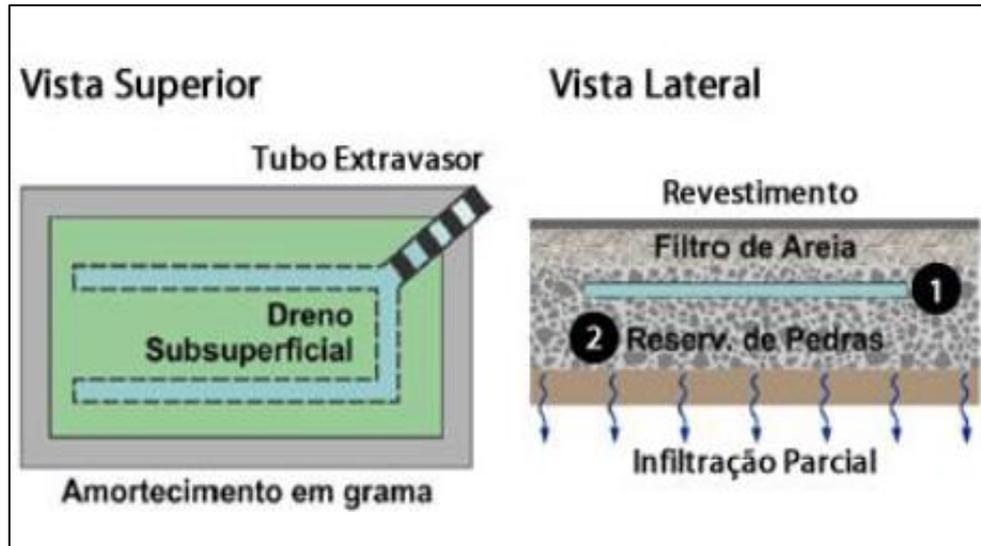


Figura 5 - Sistema de Infiltração Parcial (Adaptado de Schueler, 1987, apud PINTO, 2011, p.31).

2.1.2.3 Sistema de Infiltração para Controle da Qualidade de Água

Tal sistema coleta apenas o fluxo inicial da precipitação, a qual carrega a maior quantidade de poluentes. Esse sistema traz o benefício da filtragem de poluentes, com tubos de queda estendidos até a camada de base do pavimento, assim como mostra a figura 6, porque coleta o fluxo inicial da precipitação, que carrega a maior quantidade de poluentes água (SUZUKI *et al.*, 2014, apud MARUYAMA; FRANCO, 2016, p. 78 e 79).

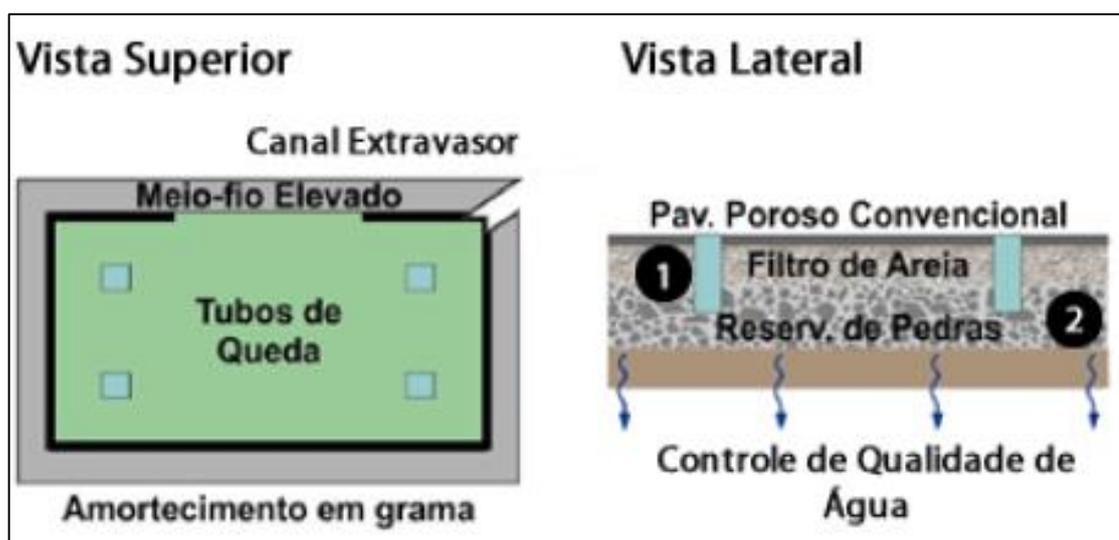


Figura 6 – Sistema de Infiltração para Controle da Qualidade da Água (Adaptado de Schueler, 1987, apud PINTO, 2011, p. 31).

2.1.3 Opções de Revestimento

Urbonas e Stahre (1993, p. 4-54) apresentam três tipos de superfícies (Asfalto Poroso, Concreto Poroso, Blocos Vazados) a serem aplicadas nos pavimentos permeáveis para minimizar o escoamento da superfície pavimentada. Os tipos serão descritos nas seções a seguir:

2.1.3.1 Blocos Vazados de Concreto

De acordo com a ABNT NBR 6136 o conceito de bloco vazado é “elemento de alvenaria cuja área líquida é igual ou inferior a 75% da área bruta.”, ele pode ser feito com matérias como: argila, concreto, pedra natural e madeira. A figura 7 demonstra uma das estruturas físicas dos blocos.



Figura 7 - Bloco Vazado de Concreto (KUMAR, 2014, p. 25).

Estes blocos podem ser usados de acordo com a necessidade e disponibilidade dos materiais que são constituídos. A sua utilização é semelhante à dos blocos maciços, porém “a área vazada pode ser preenchida com areia, pedregulho ou grama, aumentando a fração permeável da superfície” (SILVA et al., 2009, p. 124).

Castro et al. (2013, p. 264) descreve o método de construção onde, “blocos vazados intertravados são dispostos sob uma camada de areia. Um geotêxtil é colocado ao redor da camada de brita para impedir a migração de material particulado para o reservatório de brita”.

Se bem executados, os blocos podem ser capazes de suportar cargas de tráfego pesado. Seu custo inicial é elevado devido à pouca demanda no mercado, mas alguns tipos possuem longa vida útil e podem ser vantajosos se analisados do ponto de vista do custo benefício (FERGUNSON, 2005, p.324).

O sistema possui algumas desvantagens em relação a outros revestimentos. O custo unitário é elevado, ocasionado tanto pelo cimento utilizado em sua fabricação quanto pela mão-de-obra necessária para o assentamento dos blocos, além do gasto com movimentações de terra, pois a espessura do bloco vazado é superior à do asfalto necessitando maior profundidade de escavação (ACIOLI, 2005, p. 122).

2.1.3.2 Asfalto Poroso

Segundo Edwards (2012 p. 6) “pavimentos permeáveis são projetados para permitir a infiltração de águas pluviais através da superfície no solo. A água é naturalmente filtrada e os poluentes são removidos. O pavimento asfáltico poroso é um tipo de pavimento permeável”.

O asfalto é um dos materiais mais antigos empregados na engenharia civil. A sua maior finalidade é ser usado como revestimento em obras viárias. Essa técnica de pavimentação utilizando principalmente asfalto betuminoso sendo a mais difundida em todo o mundo, tanto pelo estudo tecnológico, quanto pelo custo envolvido no processo ser relativamente baixo se comparado a outros métodos.

Bernucci *et al.* (2006, p.25) conceitua o asfalto de acordo com os materiais aplicados na composição como uma “mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo de forma natural ou por destilação, cujo principal componente é o betume, podendo conter ainda outros materiais, como oxigênio, nitrogênio e enxofre, em pequena proporção”.

O termo asfalto é comumente confundido com o betume, porém como disposto na definição acima pode se perceber que o betume é apenas um composto do material e suas propriedades são distintas, o betume é um elemento resultante da junção de hidrocarbonetos solúveis em bissulfeto de carbono (BERNUCCI *et al.*, 2006, p.25). Sendo assim, o asfalto pode ser considerado apenas um material betuminoso, devido à combinação do betume em sua estrutura.

De acordo com Edwards (2012 p. 6)

O asfalto poroso é alcançado alterando a graduação do agregado para uma mistura graduada aberta. Isso cria vazios interligados, permitindo que a água flua através da superfície do asfalto e na estrutura do pavimento. Uma vez através do asfalto, a água entra na base agregada, que diminui, armazena e permite que a água se infiltre no solo nativo.

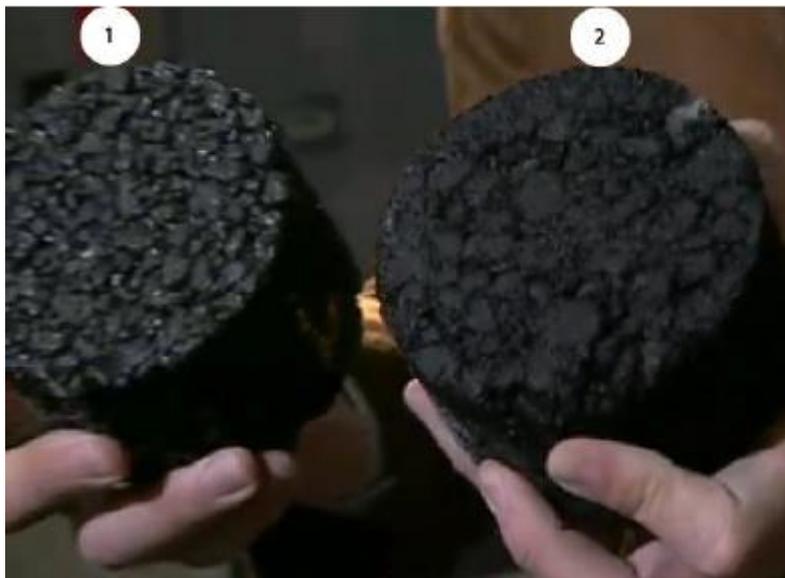


Figura 8 - Pavimento de Asfalto Convencional e Pavimento de Asfalto Poroso (G1 GLOBO, 2010, *online* min 04:45).

A figura 8 demonstra a diferença entre asfalto convencional (2) e o asfalto poroso (1), pois a textura e granulometria do asfalto comum é homogênea, sendo assim, a granulometria dos agregados é proporcional não possuindo vazios, aparentando compacta. Sem a perda do espaço de pavimento, tem-se uma área pronta para absorver precipitações, evitando enchentes e realimentando o aquífero subterrâneo.

2.1.3.3 Concreto Poroso

É um concreto que possui alto índice de vazios, sendo eles responsáveis pela permeabilidade das águas das chuvas no concreto, permitindo que a água chegue nas camadas inferiores para ser armazenada e posteriormente possibilite a infiltração no solo.

Sobre a estrutura do concreto poroso Maruyama e Franco (2016, p. 82) afirma que o

concreto poroso há baixo teor ou mesmo a retirada de finos da mistura dos agregados do pavimento. Assim o índice de vazios fica em torno de 15 a 25%, por isso tem menor resistência do que o concreto comum (ABCP, sem data). Há que se ter cautela com o aumento de índice de vazios, tanto para o caso do pavimento asfáltico como o de concreto, pois ele está diretamente relacionado com a estabilidade. Ou seja, quanto maior o índice de vazios menor a estabilidade do pavimento. Equacionar a permeabilidade com estabilidade é o desafio dos projetistas.

Essa maior quantidade de vazios é atingida sacrificando a resistência do concreto, isso faz com que esse tipo de revestimento tenha algumas restrições quanto ao seu uso. Em geral,

esse tipo de revestimento é utilizado onde as solicitações de carregamento são mais baixas como ciclovias, estacionamentos, calçadas, sendo assim tráfego leve. A figura 9 exibe um exemplo do funcionamento estrutural do concreto poroso.



Figura 9 - Concreto Permeável (KUMAR, 2014, p. 24).

2.1.4 Vantagens e Desvantagens

Segundo EPA (1999, p. 1) existem vantagens e desvantagens relacionadas à aplicação de sistemas que permitem a infiltração e percolação das águas pluviais. Dentre as vantagens da utilização desse procedimento pode-se destacar:

- Tratamento da água da chuva, através da remoção de poluentes;
- Redução dos condutos de drenagem pluvial;
- Diminuição da necessidade de meio-fio;
- Aumento nas condições de segurança e conforto das vias em razão da eliminação da lâmina de água e diminuição de ruídos;
- Promove a recarga do lençol freático e favorece a melhoria da qualidade de água que infiltra para o subsolo.

O uso do pavimento permeável é limitado para determinadas regiões, em locais que apresentam o clima frio, por exemplo, pois ocasiona entupimentos e trincas por causa da neve, em climas áridos devido à oscilação constante da temperatura, e também em regiões com altas taxas de erosão provocando o carreamento de sedimentos para a superfície do revestimento contribuindo para a obstrução dos poros.

De acordo com EPA (1999, p. 2) as desvantagens provocadas por este tipo de controle podem ser as seguintes:

- Pouca especialização dos engenheiros e empreiteiros de pavimentação com relação a essa tecnologia;
- Tendência a se tornar obstruído se for incorretamente instalado ou mantido;
- Possui risco considerável de ter defeitos, em virtude da colmatação ou da má execução;
- Possibilidade de contaminação dos aquíferos, dependendo as condições do solo e da sua suscetibilidade;
- Além da remoção de alguns componentes de sua estrutura devido ao efeito dos produtos tóxicos e dos combustíveis que possivelmente vazam dos automóveis, pois o sistema não é projetado para tratar estes poluentes.

Tucci (1995, p. 300) acrescenta ainda as desvantagens, a manutenção preventiva constante no pavimento de forma a evitar a colmatação da estrutura e o maior custo inicial no processo de execução, isto sem considerar o benefício da redução com os sistemas de drenagem convencional.

Ainda sobre o pavimento permeável, Silva et al. (2009, p. 125) recomenda “a utilização dessa tecnologia em solos com capacidade de infiltração elevada, locais com declividades suaves e lençol freático relativamente profundo”.

2.2 PAVIMENTO IMPERMEÁVEL

Os pavimentos são estruturas que revestem o solo ao qual pisamos, facilitando o deslocamento de pedestre e veículos e proporcionando aos usuários melhores condições de conforto, economia e segurança. Entre os pavimentos impermeáveis eles são divididos em pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos, os dois possuem camadas de sub-base, reforço do subleito e subleito.

Os pavimentos flexíveis são compostos uma camada de base e o revestimento flexível que se apoia sobre a sub-base, assim conseguindo absorver as tensões de tração e compressão. Para os pavimentos rígidos a placa de concreto é apoiada sobre a sub-base, aliviando os esforços por distribuir a carga recebida para uma grande área, se comparado com a interação entre pneu e pavimento.

Devido as suas características e a facilidade de emprego, os pavimentos impermeáveis são mais utilizados em obras rodoviárias e urbanas. A grande utilização desse tipo de pavimento

no perímetro urbano leva a complicações no processo de drenagem urbana, pois com o processo de pavimentação as vias se tornam impermeáveis e conseqüentemente vão contribuir para o aumento do escoamento superficial.

2.2.1 Opções de Revestimento

Dentre os pavimentos impermeáveis os mais utilizados atualmente são os pavimentos com revestimento de concreto e asfáltico, eles serão descritos nas seções a seguir:

2.2.1.1 Concreto Convencional

O concreto é um dos vários tipos de revestimentos utilizados para a pavimentação urbana e rodoviária, a utilização desse tipo de cobertura garante longa durabilidade, em relação aos outros métodos de pavimentação.

Senço (2007, p. 23), caracteriza o pavimento de concreto como ‘uma mistura convenientemente dosada e uniformizada de agregados, areia, cimento e água nas dimensões previstas em projeto. É a base que mais se caracteriza como rígida.’ Devido sua alta resistência ele é preferencialmente utilizado quando existe grande tráfego de veículos e conseqüentemente esforços maiores.

2.2.1.2 Asfalto Convencional

O revestimento asfáltico convencional de acordo com Senço (2007, p. 27) é “a preferência dos projetistas e dos construtores” e Bernucci *et al.* (2006, p.25) “No Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser também utilizado em grande parte das ruas”. Isso se deve muito as características do ligante asfáltico que possui capacidade estanque, baixa reatividade química e viscoelasticidade.

Sendo assim, devido as suas características ele é o principal revestimento que contribui para a impermeabilização das vias públicas, contribuindo com o aumento das vazões que a bacia recebe.

2.3 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS

Nesta seção serão relacionados os índices necessários para a obtenção da vazão, os critérios utilizados em cada escolha e as equações correspondentes.

2.3.1 Área de Drenagem (A)

É a área planimétrica de estudo, onde a água da chuva vai percorrer. É o elemento básico para o cálculo das demais variáveis.

2.3.2 Período de Retorno (T)

Período de retorno é o intervalo de tempo (em anos) estimado para que um evento hidrológico seja igualado ou excedido (TUCCI, 2000, p. 813).

2.3.3 Tempo de Concentração (t_c)

O tempo de concentração é o tempo necessário para que toda a bacia contribua no escoamento superficial. Sua estimativa pode ser feita por métodos empíricos analisando fatores que interferem diretamente na sua determinação, como o comprimento e a declividade da bacia (TUCCI, 2000, p. 394).

2.3.4 Intensidade da Chuva de Projeto (I)

O autor Andrade et al. (2000, p. 53) descreve intensidade da chuva de projeto como sendo “intensidade média de precipitação sobre toda a área drenada, considerada constante durante sua duração. Portanto de duração igual ao tempo de concentração”.

2.3.5 Coeficiente de Escoamento Superficial (C)

O autor Andrade et al. (2000, p. 53 e 54) diz que é o

coeficiente relacionado com a parcela da chuva que se transforma em chuva excedente e com os efeitos de armazenamento na bacia; caso esses efeitos sejam desprezados, este é chamado de coeficiente de escoamento superficial e exprime a parcela da chuva que se transforma em chuva excedente.

O mesmo autor também fala que

O coeficiente de escoamento superficial é função de uma série de fatores, entre os quais o tipo de solo, ocupação da bacia, a umidade antecedente, a intensidade da chuva e outros como a possibilidade de planos urbanísticos municipais e da legislação local referente ao zoneamento e ocupação do solo. A adoção, portanto, de um valor constante para o coeficiente é uma hipótese pouco realista e deve ser feita com cautela. Geralmente o coeficiente de escoamento é determinado em função da ocupação do solo.

2.3.6 Vazão de Projeto (Q)

É a determinação da vazão máxima de um projeto hidráulico a partir de métodos teóricos. Para esse projeto vai ser calculado a partir do Método Racional, neste caso vão ser utilizados como variáveis para o cálculo da vazão de projeto: coeficiente de escoamento superficial, intensidade da chuva projetada e a área de drenagem.

O tempo de retorno foi escolhido de acordo com o tipo de obra e a ocupação conforme demonstrado pela tabela 1.

Tabela 1 - Tempo de Retorno para Sistemas Urbanos (PARANÁ, 2002, p. 28).

Sistema	Característica	Intervalo	Valor recomendado
		(anos)	(anos)
Microdrenagem	Residencial	2 - 5	2
	Comercial	2 - 5	2
	Áreas de prédios públicos	2 - 5	2
	Áreas de Comerciais e Avenidas	2 - 10	2
	Aeroporto	5 - 10	5
Macrodrenagem		10 - 50	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 - 100	50

O tempo de concentração determinou-se de acordo com a bacia, nas bibliografias estudadas foram citadas o tempo de retorno entre 2 a 10 minutos para localidades urbanas, tendo que ser adotado constante para todo o objeto de estudo.

A intensidade da chuva projetada fez-se utilizando a fórmula que considera o período de retorno, o tempo de concentração e parâmetros físicos locais que foram gerados pelo software Pluvio 2.1, esse dado foi utilizado para verificar a vazão máxima dos revestimentos.

O coeficiente de escoamento superficial foi verificado para cada uma das opções de revestimento de acordo com a equação e com os coeficientes matemáticos que foram previamente estudados e verificados por autores renomados na área. A tabela 2 representa coeficientes de escoamento para pavimentos de asfalto, concreto, calçadas, telhado e cobertura com grama.

Tabela 2 - Valores do Coeficiente de Escoamento (C) para o Concreto e Asfalto Convencional (ASCE, 1969, apud TUCCI, 2000, p. 542).

Superfície	Coeficiente de escoamento (C)	
	Intervalo	Valor Esperado
PAVIMENTO		
Asfalto	0,70 - 0,95	0,83
Concreto	0,80 - 0,95	0,88
Calçada	0,75 - 0,85	0,80
Telhado	0,75 - 0,95	0,85
Cobertura: grama arenoso		
Plano (2%)	0,005 - 0,10	0,08
Médio (2 a 7%)	0,10 - 0,15	0,13
Alto (7%)	0,15 - 0,20	0,18
Grama, solo pesado		
Plano (2%)	0,13 - 0,17	0,15
Médio (2 a 7%)	0,18 - 0,22	0,20
declividade alta (7%)	0,25 - 0,35	0,30

O coeficiente de escoamento superficial do asfalto poroso é decorrente do trabalho desenvolvido pela engenheira civil Laura Albuquerque Acioli (ACIOLI, 2005), no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). A instalação experimental foi montada no estacionamento situado próximo ao bloco de ensino do IPH/UFRGS e os resultados podem ser observados na tabela 3:

Tabela 3 - Coeficiente de Escoamento do Asfalto Poroso (adaptado de ACIOLI, 2005, p. 101).

Data	Precipitação (mm)	Coeficiente de Escoamento (C) Asfalto Poroso
14/05/2004	22,6	0,01
10/06/2004	83,1	0,05
24/06/2004	20,1	0,01
03/07/2004	24,4	0,02
07/07/2004	9,7	0,00
14/07/2004	35,6	0,07
30/07/2004	55,1	0,07
06/08/2004	20,8	0,10
17/08/2004	32,5	0,04
10/09/2004	46,2	0,06
20/09/2004	115,8	0,08
28/09/2004	20,8	0,08
16/10/2004	37,1	0,04
18/10/2004	15,2	0,06
03/11/2004	18,5	0,07
05/11/2004	17,0	0,02
10/11/2004	90,4	0,14
MÉDIA		0,05

Os coeficientes de escoamento superficial do concreto poroso, bloco vazado de concreto e do solo compactado são resultados do experimento realizado pelos pesquisadores Paulo Roberto de Araújo, Carlos E. M. Tucci e Joel A. Goldenfum (ARAÚJO, *et al*, 2000) no pátio do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O experimento consistiu na simulação de chuvas sobre diferentes tipos de superfícies e o resultado pode ser observado na tabela 4:

Tabela 4 - Coeficiente de Escoamento (C) do Concreto Poroso, Blocos Vazados de Concreto e Solo Compactado (adaptado de ARAÚJO, *et al*, 2000, p. 27).

	Concreto Poroso	Blocos Vazados de Concreto	Solo Compactado
Data de simulação	13/04/1999	27/01/1999	03/06/1998
Intensidade simulada (mm/h)	120	110	112
Chuva total (mm)	20,00	18,33	18,66
Escoamento total (mm)	0,01	0,50	12,32
Coeficiente de escoamento	0,005	0,03	0,66

Após essa análise foi averiguado um coeficiente médio de escoamento para cada revestimento, sendo este o utilizado para calcular as vazões máximas. Esse coeficiente médio de escoamento foi calculado pela seguinte formula:

$$C = \frac{1}{A} * \sum Ci * Ai$$

Onde:

C = coeficiente médio de escoamento superficial;

A = área de drenagem da bacia;

Ci é o coeficiente de escoamento superficial correspondente à ocupação " i ";

Ai é a área da bacia correspondente à ocupação " i ".

Com base nestes dados foi gerado simulações de escoamento superficial no Capim Dourado Shopping, localizado na quadra 107 Norte, avenida JK com NS 05, através do Método Racional utilizando a equação de chuvas de Palmas - TO. A equação local de chuvas intensas foi obtida através do software Pluvio 2.1 de acordo com a figura 11.

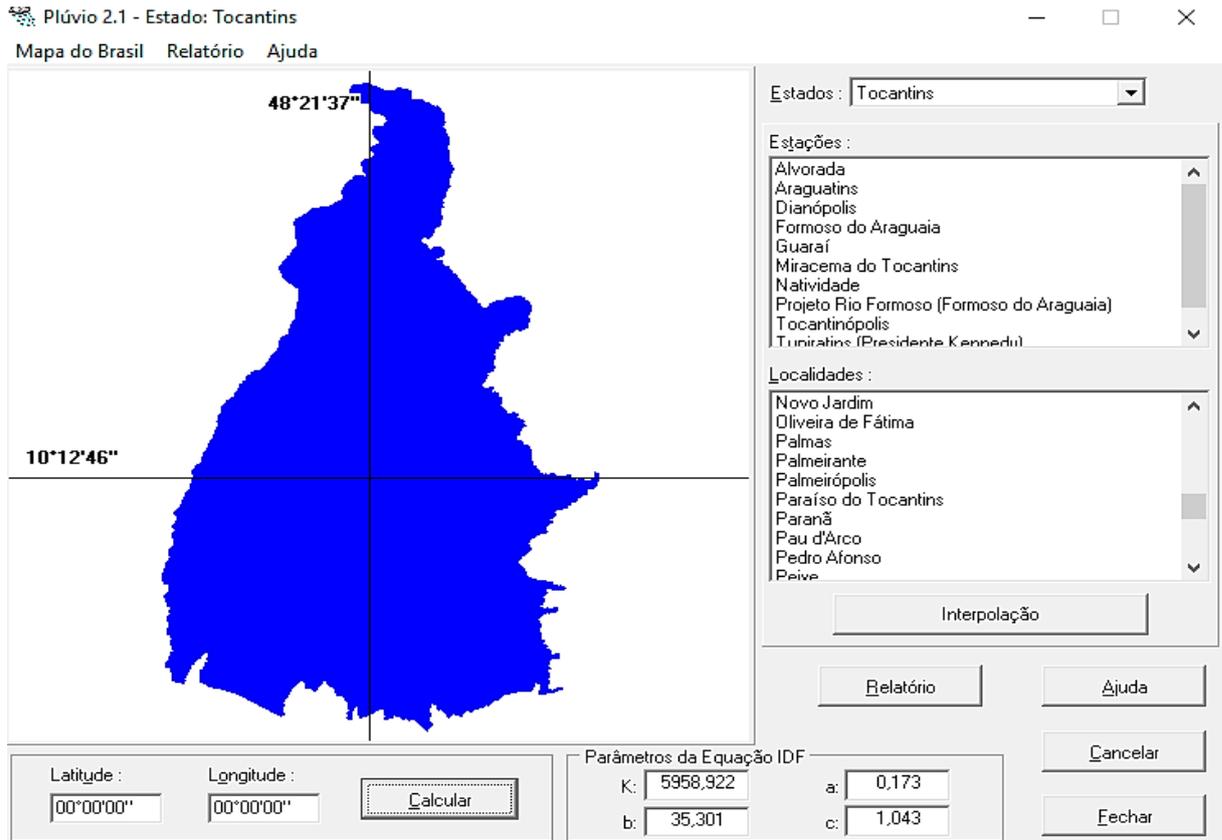


Figura 11 - Equação de Chuvas Intensas de Palmas - TO (Pluvio 2.1, Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos DEA/UFL, 2006).

As áreas de drenagem correspondentes a cada espaço físico do shopping (espaço de estacionamento, telhados, passeios e jardins) foram obtidas por meio do software AutoCAD medindo as áreas molhadas e verificando a contribuição dos telhados, também, para o escoamento superficial que se tem no objetivo de estudo.

Com os parâmetros obtidos no software, tem-se a equação de chuvas de Palmas - TO:

$$I = \frac{5958,922 * Tr^{0,173}}{(t + 35,301)^{1,043}}$$

Os resultados dessa simulação foram apresentados para fazer o comparativo quanto a vazão máxima relativa a cada pavimento, obtendo, um valor de redução da quantidade de volume que será escoado e quanto essa vazão influencia na drenagem urbana local. É possível que a partir desse estudo possa ser feitas melhorias estruturais que beneficiem a sociedade local e também o local de estudo.

As vazões máximas foram calculadas utilizando o Método Racional. Sua escolha é feita com base nas características da superfície por onde a água da chuva é escoada, tais como, grau de infiltração, declividade e principalmente a área total da bacia estudada. A equação do Método Racional é:

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278 * C * I * A$$

Sendo:

$Q_{m\acute{a}x}$ = Vazão máxima, em m³/s;

C = Coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

I = Intensidade da precipitação, em mm/h;

A = Área da bacia, em km².

O método é amplamente utilizado para quantificar a vazão de pequenas bacias, Tucci (2000, p.539) limita o uso para áreas inferiores ou iguais a 2 km². O Método Racional admite que a duração da precipitação seja igual ao tempo de concentração, esse pressuposto é fundamentado essencialmente no porte menor da área de drenagem estudada.

Estes dados de vazões geraram gráficos e tabelas que correlacionam o tipo de revestimento, coeficiente de escoamento, intensidade de chuva do projeto e a vazão máxima encontrada por cálculo.

Em visita técnica ao local, verificou-se que o pavimento que está sendo utilizado no momento no objeto de estudo é um pavimento impermeável feito de asfalto betuminoso, esse método é comumente utilizado nas vias urbanas e tem alta contribuição para o escoamento superficial.

Avaliou-se o desempenho hidráulico de cada dispositivo analisando as vazões máximas das coberturas, com isso, foi apresentado o percentual de redução do volume que antes era escoado, fazendo comparação dos revestimentos e identificou-se o pavimento que melhor contribui para a redução do escoamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A presente seção tem como objetivo apresentar os resultados obtidos com as simulações de vazão máxima utilizando o Método Racional, que estima a determinação através da quantidade de chuva precipitada e das características das superfícies por onde a água escoar. O objetivo principal é identificar dentre os pavimentos escolhidos anteriormente (concreto convencional, concreto poroso, asfalto poroso e bloco vazado de concreto) qual melhor contribui na redução do escoamento gerado pelas precipitações.

4.1 CÁLCULO DAS ÁREAS

Para o cálculo das vazões as áreas foram divididas em telhado, estacionamento, solo compactado, calçamento e grama. Com isso, foi possível identificar as áreas correspondente a cada superfície utilizando o software AutoCAD, estas foram subdividas em setores, conforme a figura 12.

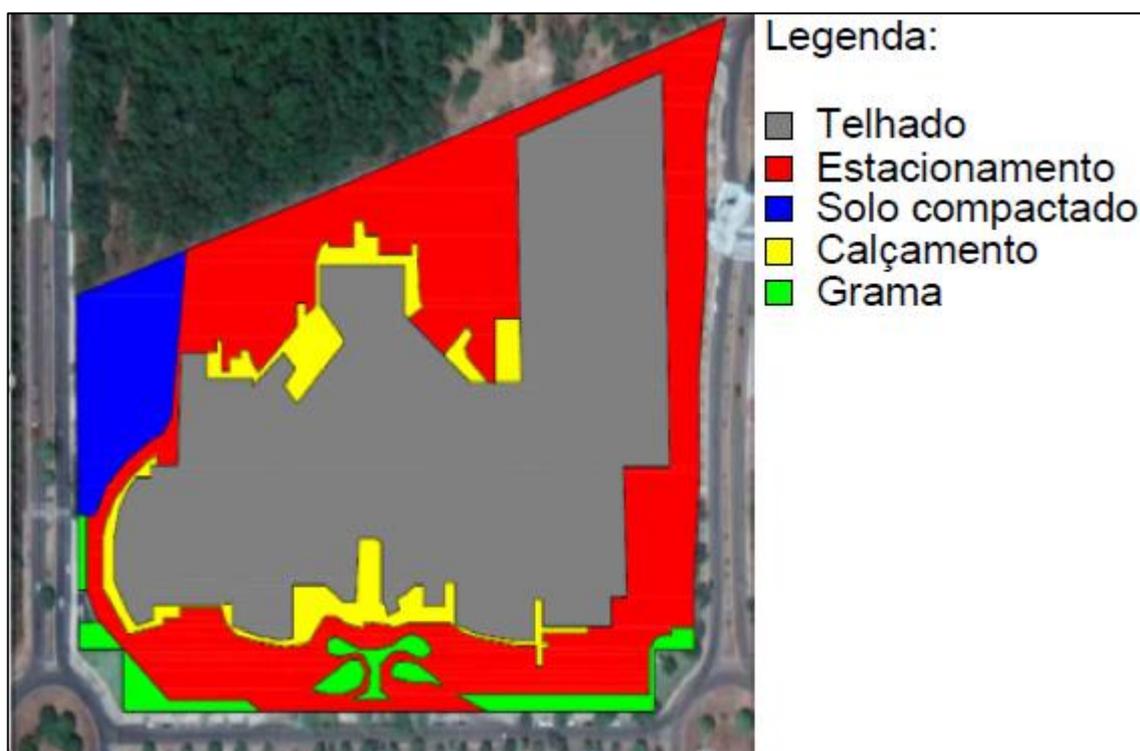


Figura 12 - Setorização do Shopping Capim Dourado (adaptado de GOOGLE MAPS, 2019, online).

Realizando esse processo foi possível obter a área correspondente a cada ambiente viabilizando os próximos cálculos, conforme exemplificado na tabela 5.

Tabela 5 - Áreas de Acordo com a Setorização do Shopping Capim Dourado.

Setores	Área (km²)	Área (%)
Gramma	0,0024	2,38%
Calçada	0,0031	3,03%
Solo Compactado	0,0051	5,01%
Estacionamento	0,0394	38,94%
Telhado	0,0512	50,63%
Total	0,10117	100,00%

4.2 CÁLCULO DOS COEFICIENTES

Os valores de coeficientes variam de acordo com o tipo de ocupação da bacia, natureza do terreno, capacidade de infiltração do solo e a intensidade máxima das chuvas. A variação do coeficiente de escoamento é diretamente proporcional à vazão, quanto maior seu valor, maior ainda será o volume de água a ser escoado.

Para avaliar a eficiência do pavimento permeável no Shopping Capim Dourado foram feitas cinco diferentes simulações do coeficiente de escoamento para a superfície estudada, sendo elas, para o concreto convencional, concreto poroso, asfalto convencional, asfalto poroso e blocos vazados de concreto com o preenchimento de vegetação gramínea.

Os subitens 4.3.1 a 4.3.5 utilizam a tabela 6 para obterem os valores das áreas superficiais correspondentes e os coeficientes de escoamento superficial.

Tabela 6 – Valores de Coeficientes e Áreas

Superfície	Coeficiente de Escoamento	Área (km²)
Asfalto Convencional	0,83	0,0394
Concreto Convencional	0,88	0,0394
Calçada	0,80	0,0031
Telhado	0,85	0,0512
Gramma	0,08	0,0024
Asfalto Poroso	0,05	0,0394
Concreto Poroso	0,005	0,0394
Blocos Vazados de Concreto	0,03	0,0394
Solo Compactado	0,66	0,0051

4.2.1 Coeficiente de Escoamento Superficial para o Asfalto Convencional

Buscando os valores na tabela 2, foi possível calcular o coeficiente de escoamento superficial para o asfalto convencional, a partir da equação para coeficiente médio de escoamento, onde:

$$C = \frac{1}{0,1011} \times [(0,83 * 0,0394) + (0,85 * 0,0512) + (0,80 * 0,0031) + (0,08 * 0,0024) + (0,66 * 0,0050)]$$

$$C = 0,81$$

4.2.2 Coeficiente de Escoamento Superficial para o Concreto Convencional

A partir do valor de coeficiente na tabela 2, foi possível calcular o coeficiente de escoamento superficial para o concreto convencional, a partir da equação para coeficiente médio de escoamento, onde:

$$C = \frac{1}{0,1011} \times [(0,88 * 0,0394) + (0,85 * 0,0512) + (0,80 * 0,0031) + (0,08 * 0,0024) + (0,66 * 0,0050)]$$

$$C = 0,83$$

4.2.3 Coeficiente de Escoamento Superficial para o Asfalto Poroso

Com o valor de coeficiente na tabela 3, tornou-se viável o cálculo do coeficiente de escoamento superficial, assim o coeficiente foi calculado da seguinte forma:

$$C = \frac{1}{0,1011} \times [(0,05 * 0,0394) + (0,85 * 0,0512) + (0,80 * 0,0031) + (0,08 * 0,0024) + (0,66 * 0,0050)]$$

$$C = 0,51$$

4.2.4 Coeficiente de Escoamento Superficial para o Concreto Poroso

Aplicando os valores de escoamento superficial da tabela 4, obteve o seguinte valor do coeficiente:

$$C = \frac{1}{0,1011} \times [(0,005 * 0,0394) + (0,85 * 0,0512) + (0,80 * 0,0031) + (0,08 * 0,0024) + (0,66 * 0,0050)]$$

$$C = 0,49$$

4.2.5 Coeficiente de Escoamento Superficial para os Blocos Vazados de Concreto com Preenchimento de Vegetação Gramínea

Utilizando a tabela 4 para extrair o coeficiente superficial, foi possível calcular o coeficiente:

$$C = \frac{1}{0,1011} \times [(0,03 * 0,0394) + (0,85 * 0,0512) + (0,80 * 0,0031) + (0,08 * 0,0024) + (0,66 * 0,0050)]$$

$$C = 0,50$$

4.2.5 Coeficientes Médios de Escoamento

Na tabela 7 são apresentados os valores dos coeficientes médios de escoamento, obtidos através do cálculo da média ponderada. Foi possível notar diferenças nos valores devido a utilização de materiais diferentes como o concreto convencional, asfalto convencional, bloco vazado, asfalto poroso e concreto poroso. Essas simulações visam substituir a área de estacionamento que hoje é ocupado por asfalto betuminoso.

Tabela 7 - Coeficientes Médios de Escoamento.

Revestimento	Coeficiente Médio de Escoamento (C)
Concreto Convencional	0,83
Concreto Poroso	0,49
Bloco Vazado de Concreto	0,50
Asfalto Poroso	0,51
Asfalto Convencional	0,81

4.3 VAZÃO MÁXIMA

A determinação da vazão máxima (Q) foi estimada pelo Método Racional, que agrupa todas as variáveis envolvidas em um único coeficiente, o coeficiente de escoamento (C). As variáveis do método referentes à intensidade da precipitação e área da bacia serão constantes, a grandeza física a ser alterada será o coeficiente do escoamento.

4.3.1 Vazão Máxima Utilizando Asfalto Convencional

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278 * C * I * A$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278 * 0,81 * 125,87 * 0,1011$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 2,87 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3.2 Vazão Máxima Utilizando Concreto Convencional

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278 * C * I * A$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278 * 0,83 * 125,87 * 0,1011$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 2,94 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3.3 Vazão Máxima Utilizando Concreto Poroso

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278 * 0,49 * 125,87 * 0,1011$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 1,73 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3.4 Vazão Máxima Utilizando Bloco Vazado de Concreto com Preenchimento de Vegetação Gramínea

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278 * 0,50 * 125,87 * 0,1011$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 1,77 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3.5 Vazão Máxima Utilizando Asfalto Poroso

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278 * 0,51 * 125,87 * 0,1011$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 1,80 \text{ m}^3/\text{s}$$

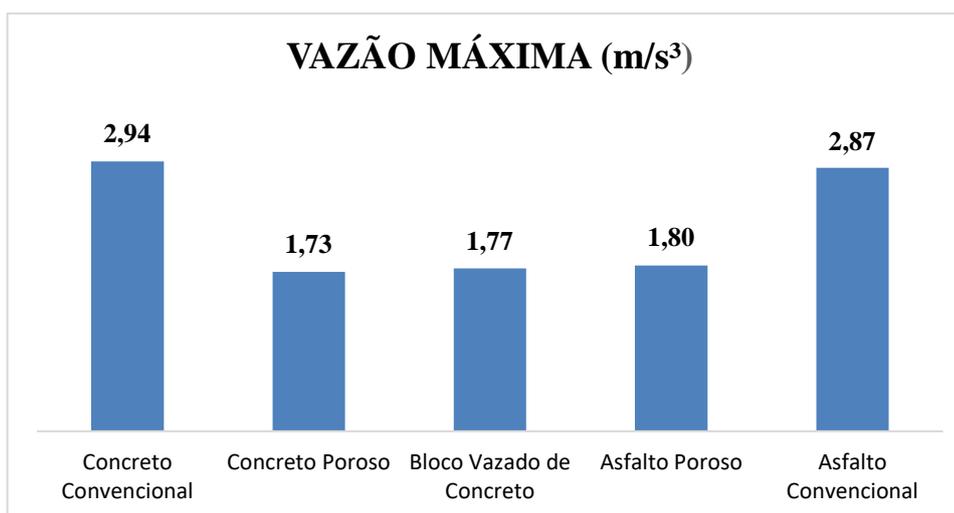
4.3.6 Vazões Máximas Resultantes

De acordo com os cálculos já demonstrados foi possível elaborar a tabela 8 com as simulações das vazões máximas em função dos coeficientes de escoamento superficial, a intensidade pluviométrica e a área total da bacia.

Tabela 8 - Resultados Obtidos pela Simulação das Vazões.

Superfície	Área Total da Bacia	Coefficiente de Escoamento	Intensidade (mm/h)	Vazão (m³/s)
Concreto Convencional	0,1011	0,83	125,87	2,94
Concreto Poroso	0,1011	0,49	125,87	1,73
Bloco Vazado de Concreto	0,1011	0,50	125,87	1,77
Asfalto Poroso	0,1011	0,51	125,87	1,80
Asfalto Convencional	0,1011	0,81	125,87	2,87

Para facilitar a visualização dos dados foi desenvolvido um gráfico com o auxílio da ferramenta computacional EXCEL, com o intuito de especificar as vazões geradas por cada pavimento, e assim, apontar com facilidade qual revestimento se tornou mais eficiente na redução do escoamento superficial.

**Figura 13** - Gráfico de Vazão Máxima por Pavimento.

Analisando a figura 13 acima, percebe-se uma redução de 39,72 % no escoamento superficial gerado pelo pavimento de concreto poroso em relação ao asfalto convencional, de 38,33 % gerado pelo bloco vazado de concreto e 37,28 % em para o asfalto poroso, todos em comparação com a simulação no concreto convencional.

Tabela 9 - Reduções das Vazões em Função do Asfalto Convencional

Revestimentos	Redução das Vazões (%)
Concreto Poroso	39,72
Bloco Vazado de Concreto	38,33
Asfalto Poroso	37,28

Já analisando o desempenho dos pavimentos permeáveis o concreto poroso apresentou uma redução de 2,31 % no escoamento superficial em relação ao bloco vazado e de 4,05 % para o asfalto poroso, conforme a tabela 10.

Tabela 10 - Desempenhos em Função do Concreto Poroso

Revestimentos	Aumento do escoamento (%)
Bloco Vazado de Concreto	2,31
Asfalto Poroso	4,05

Ao término das simulações de vazão, pode se constatar que dentre as superfícies simuladas a que mais contribuiu na redução do escoamento superficial foi o pavimento de concreto poroso.

Os valores próximos de vazão entre o asfalto poroso e o concreto poroso está ligado a dois mecanismos que aumentam a porosidade do pavimento que são os agregados graúdos com graduação uniformes e a substituição dos finos por agregados graúdos.

O revestimento com bloco vazado de concreto possui 75 % ou menos de sua área total sendo vazada, isso possibilita que boa parte do volume total de fluido seja infiltrado, já que mesmo possuindo um preenchimento gramíneo este ainda via possibilitar um coeficiente de escoamento superficial menor que outros pavimentos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nas pesquisas bibliográficas, simulações e estudos desenvolvidos para o trabalho em questão, foi evidente o excelente desempenho dos pavimentos permeáveis no amortecimento das vazões máximas. Se utilizados em substituição aos pavimentos impermeáveis há grande contribuição para o controle da geração de escoamento, havendo uma redução de até 40% no escoamento superficial.

Com a diminuição do escoamento superficial, o dimensionamento da drenagem urbana é alterado as bocas-de-lobo, galerias e bacias de amortecimento sofreu redução já que o volume de águas que chega no sistema é menor.

Analisando do ponto de vista econômico, o pavimento permeável a partir do momento que reduz as dimensões do sistema de drenagem causa uma dedução do valor total do sistema, sendo assim gerando economia nessa parte em relação aos outros pavimentos.

Também é notável que com a redução do escoamento superficial a quantidade de águas lançadas pelo sistema de drenagem no corpo de água é menor, isso pode provocar uma diminuição da quantidade de lixo, do processo de erosão e sedimentação.

Diminuindo o volume de águas lançado na via urbana, a chance de que exista problemas como enchentes e inundações é menor, gerando menos prejuízo a população que trafega por esses locais.

REFERÊNCIAS

- ACIOLI, Laura A. **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para o Controle do Escoamento Superficial na Fonte**. 2005. 162 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- ANDRADE FILHO, Alceu Gomes de; SZÉLIGA, Marcos Rogério; SZESZ, João Ricardo Sampaio. UTILIZAÇÃO DE MICRO-RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO PARA ATENUAÇÃO DE INUNDAÇÕES EM BACIAS URBANAS. **Publicatio Uepg**: Ciências Exatas e da Terra, Agrárias e Engenharias, Ponta Grossa, v. 6, p.47-68, 2000.
- ARAÚJO, P. R.; TUCCI, Carlos E. M.; GOLDENFUM, J. A. 2000. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos. Volume 5, n. 3, Jul/Set 2000. 21-29.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6136**: Bloco vazado de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1994.
- BERNUCCI, Liedi B. et al. **Pavimentação Asfáltica**: Formação Básica para Engenheiros. 3 ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2006. 504 p.
- BRAGA, Benedito; TUCCI, Carlos; TOZZI, Marcos (Org.). **Drenagem urbana**: gerenciamento, simulação, controle. Porto Alegre: Universidade/UFRGS/associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998. 203 p.
- CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p.
- CASTRO, Andréa et al. Avaliação da Evolução do Comportamento Quantitativo de Pavimentos Permeáveis no Controle do Escoamento Superficial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 18, n. 1, p.263-273, 2013.
- COSTA JUNIOR, Lourenço Leme da; BARBASSA, Ademir Paceli. Parâmetros de projeto de micro reservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s.l.], v. 11, n. 1, p.46-54, mar. 2006.
- DALEY, Richard M. **The Chicago Green Alley Handbook**: An Action Guide to Create a Greener, Environmentally Sustainable Chicago. 1 ed. Chicago: CDOT, 2010. 45 p.
- EDWARDS, Erik W. **POROUS ASPHALT PAVEMENT**. 2012. 40 f. Tese (Doutorado) - Curso de Civil Engineering, Benjamin M. Statler College Of Engineering And Mineral Resources At West Virginia University, Morgantown, 2012.
- EPA, 1999. **Storm Water Technology Fact Sheet, Porous Pavement**. EPA 832-F-99-023 Office of Water, Washington, D.C. Disponível em: < <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/91018M1N.PDF?Dockey=91018M1N.PDF> > Acesso em: 04 de Outubro de 2018.

FERGUNSON, Bruce K. **Porous Pavements: Integrative Studies in Water Management and Land Development**. 1 ed. Florida: Taylor & Francis Group CRC Press, 2005. 577 p.

G1 GLOBO, **Professor da USP desenvolve um asfalto que absorve a água da chuva**, 2010. Vídeo online (09:40 min), digital, widescreen, color, som. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2010/11/professor-da-usp-desenvolve-um-asfalto-que-absorve-agua-da-chuva.html>>. Acessado em 08 Maio 2012.

KUMAR, Kolluru Hemanth. Review Paper on Permeable Pavement Systems. **Department Of Civil Engineering, Maulana Azad National Institute Of Technology**, Bhopal, India, p.20-40, 2014.

MARUYAMA, Cintia Miua; FRANCO, Maria de Assunção Ribeiro. PAVIMENTOS PERMEÁVEIS E INFRAESTRUTURA VERDE. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, [S.I.], v. 4, n. 9, p.73-86, 26 dez. 2016. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista.

PALMAS (Município). Decreto nº 700, de 15 de janeiro de 2014. Anexo III. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas - To: Drenagem Urbana**. Palmas, TO, v. 3.

PARANÁ. Suderhsa. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **MANUAL DE DRENAGEM URBANA: PLANO DIRETOR DE DRENAGEM PARA A BACIA DO RIO IGUAÇU NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**. 2002. Disponível em: <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume6/mdu_versao01.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2018.

PINTO, Liliane L. C. A. **O Desempenho de Pavimentos Permeáveis como Medida Mitigadora da Impermeabilização do Solo Urbano**. 2011. 283 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SENÇO, Wlastermiler de. **MANUAL DE TÉCNICAS DE PAVIMENTAÇÃO**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007. 761 p. 1 v.

SILVA, Gustavo et al. Influência de Aspectos Construtivos e de Uso na Eficiência de Revestimentos com Superfícies Permeáveis. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 14, n. 1, p.123-134, 2009.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. GESTÃO DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL: DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, [S.I.], v. 1, n. 1, p.58-72, 27 mar. 2013.

TUCCI, Carlos E. M; PORTO, Rubem L. L.; BARROS, Mário T. **Drenagem Urbana**. 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1995. 428 p.

TUCCI, Carlos E. M.; MARQUES, David da Motta (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Universidade/UFRGS, 2000.

TUCCI, Carlos E. M; **Hidrologia**. Ciência e Aplicação. 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 2000. 943 p.

TUCCI, Carlos E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, [S.I.], v. 22, n. 63, p.97-112, 2008.

URBONAS, Bem; STAHR, Peter. **Stormwater Best Management Practices and Detention**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450 p. Disponível em: <<http://migre.me/9bBNo>> Acessado em 03 de Outubro de 2018.

