

# ANÁLISE DE CUSTO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS EM BLOCO DE CONCRETO UTILIZANDO BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)

[Edição 111 JUN/22 SUMÁRIO / 17/06/2022](#)

REGISTRO DOI: 10.5281/zenodo.10022486

---

Eliomar Gotardi Pessoa;

Coautora: Glaucia Brandão Freitas

---

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de pavimentos permeáveis tem se apresentado como uma alternativa viável no que tange à gestão das águas pluviais. Novos conceitos e processos têm surgido no intuito de minimizar os impactos provocados pelas enchentes e propiciar maior conforto e interação com a paisagem natural, meio ambiente e o sistema de saúde pública. Todavia, o baixo emprego desse tipo de pavimento por ser pouco difundido desfavorece a estimativa de custos de implantação. A falta desse tipo de informação faz com que a aplicação desta solução seja cada vez menor. Visando melhorar este cenário desfavorável, buscamos tecnologias a fim de maximizar melhores conceitos de forma prática e eficaz.

É incessante a busca por automação e inovação na indústria da construção civil. Dentre as inovações mais recentes, destaca-se o Building Information Modeling (BIM), uma metodologia de modelagem de informação que visa fornecer insumos para proporcionar a prototipagem virtual de construções.

Quando comparado a outras obras de infraestrutura, como sistemas viários, sistemas de drenagem e abastecimentos de água e energia, o BIM vem sendo aplicado em maior escala em obras civis, como edifícios. Estes tipos de obra são os principais gargalos que os países em desenvolvimento enfrentam devido à sua complexidade e à necessidade de financiamentos elevados.

Em razão de sua importância, das grandes demandas das obras de infraestrutura e do anseio de solucionar problemas relacionados à drenagem urbana, desenvolveu-se neste trabalho uma alternativa: utilizar a metodologia BIM como uma ferramenta auxiliar para tomar decisão entre a utilização de pavimentos permeáveis ou tradicionais em empreendimentos urbanos com base em uma análise de custo.

## 1.1 TEMA DA PESQUISA

Análise de custos para utilização de pavimentos permeáveis em blocos de concreto, utilizando a ferramenta BIM como auxílio para modelar os dimensionamentos utilizando variáveis importantes que trarão diferenças significativas para os custos e para a escolha desse tipo de pavimento.

## 1.2 PROBLEMA DA PESQUISA

O pavimento permeável é uma alternativa mitigatória na fonte e também sustentável para os problemas da drenagem urbana. A utilização mais frequente ocorre cada vez mais em países como China, Estados Unidos e Brasil. No Brasil podemos destacar o estado do Espírito Santo, que recentemente executou a primeira obra utilizando a metodologia e os

conceitos de pavimentos permeáveis no município de Vila Velha, bairro Barra do Jucu.

Apesar de os pavimentos permeáveis serem uma alternativa mitigatória e sustentável, ainda há falta de informações e ferramentas que possibilitem a análise dos custos de implantação para fazer com que optar por eles seja mais usual.

Além de serem uma ferramenta mitigatória na fonte para drenagem urbana favorável do ponto de vista ambiental, os pavimentos permeáveis também podem ser favoráveis do ponto de vista financeiro. Em alguns casos, a depender das características do local, podem ser até uma alternativa mais econômica, considerando a diminuição dos custos com a drenagem convencional em razão da redução de tubos, grelhas, poços de visita, etc. A utilização de ferramentas adequadas e práticas tal como o BIM (*Building Information Modeling*) podem proporcionar uma análise de custos simples e ágil para a escolha pelo pavimento permeável em vez da drenagem convencional.

Este trabalho propõe disponibilizar meios práticos de comparação de custos preliminares de implantação entre vias de pavimento permeável ou pavimento convencional utilizando o BIM como ferramenta para agilizar esta decisão.

### 1.3 JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A análise financeira é primordial no estudo de concepção de projetos, afinal, não adianta ser sustentável se não for viável do ponto de vista econômico. A falta de informações para a estimativa dos custos aparece como entrave para a aplicação deste tipo de pavimento.

O presente estudo propõe a utilização da modelagem BIM (*Building Information Modeling*) para fazer estimativas de custos de implantação de pavimento permeável, a depender das características do local, como análise preliminar de forma a auxiliar as decisões. Na prática, elas podem

mudar a forma de pensar sobre este tipo de pavimento pois, além de serem econômicas, agregam valor à sustentabilidade.

## **2 OBJETIVOS**

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar levantamento de custo da utilização de pavimentos permeáveis em áreas urbanas utilizando a ferramenta BIM, comparando os custos da utilização de pavimento permeável em bloco de concreto com os custos em pavimento asfáltico.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar o BIM (*Building Information Modeling*) para modelar os dimensionamentos das obras de pavimentação e drenagem de pavimento permeável em bloco de concreto e em pavimento asfáltico;
- Identificar os principais benefícios que o uso da metodologia BIM traz para o estudo de pavimento permeável referente a custos;
- Quantificar o impacto dos custos de transporte de materiais nos custos finais das obras de pavimentação e drenagem;
- Verificar o quanto parâmetros físicos, tais como material empregado na base e sub base e ISC, impactam o custo final comparado a um sistema de pavimento asfáltico.

## **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### 3.1 CONCEITOS GERAIS

Nos dias atuais, a rápida urbanização fez com que a área impermeável aumentasse dramaticamente, o que alterou intensamente o ciclo hidrológico natural e promoveu graves desastres de enchentes urbanas e severa poluição ambiental.

Um dos principais desafios das cidades é o problema das cheias urbanas, agravado pelo próprio processo de urbanização. Os prejuízos são inúmeros: perdas econômicas e sociais diversas acumuladas e interferência nos setores de transporte, saneamento e saúde pública, por exemplo. Podem-se ressaltar os danos em infraestrutura e nas habitações, a degradação do ambiente natural e a desvalorização do ambiente construído, a propagação de doenças de veiculação hídrica e o empobrecimento da população com perdas sucessivas, entre outros, conforme destacado por Miguez *et al.* (2016).

A grande responsável pelo estado caótico do controle de enchentes nas áreas urbanas brasileiras é a falta de uma visão sistêmica no planejamento da macrodrenagem (CANHOLI, 2015). Desta forma, para mitigar os impactos das inundações urbanas, a visão tradicional do projeto de drenagem vem sendo modificada nas últimas décadas por uma abordagem integrada de manejo sustentável das águas pluviais e planejamento do espaço urbano. A perspectiva de incorporar conceitos de sustentabilidade ambiental no processo de repensar o crescimento da cidade abre um conjunto de oportunidades a serem exploradas como soluções integradas em um contexto multidisciplinar.

A conjugação das ações nas áreas urbanas, tendo o controle de uso do solo urbano como pano de fundo e a drenagem como estruturante da paisagem e, no corredor fluvial, com foco no curso d'água como síntese do território, permite uma construção mais sustentável para o funcionamento das cidades. Os sistemas de espaços livres surgem, então, como oportunidades de integração do espaço urbano. Conforme ressaltado por Veról *et al.* (2018), os sistemas de espaços livres podem ser utilizados para suportar soluções de drenagem e para organizar o crescimento urbano, permitindo a conservação de áreas verdes e oferecendo volumes para o armazenamento temporário de água. Por outro lado, os cursos d'água que definem o sistema de drenagem principal podem ser conjugados com o sistema de espaços livres,

oferecendo corredores que unem áreas verdes fragmentadas, mantendo seus fluxos ecológicos em um sistema ambiental integrado.

O presente trabalho tem como objetivo ressaltar a importância dos sistemas de drenagens sustentáveis como medidas mitigatórias. Para isso, serão dados exemplos de intervenções de drenagem urbana sustentável e projetos multifuncionais.

Para resolver estas questões emergentes, um novo conceito de gestão de águas urbanas – “cidade esponja” – foi proposto pelo governo chinês no fim de 2013. Um total de 30 cidades foram selecionadas como os sites-piloto para implementar o conceito e muitas projeções foram realizadas.

Controles de LID, como telhados verdes, valas vegetais e barris de chuva, são usados para a construção da cidade esponja. Portanto, a chave para a construção da cidade esponja é selecionar o melhor esquema comparando diferentes esquemas de design. A maioria dos estudos avaliou e comparou diferentes esquemas focando principalmente na avaliação da sustentabilidade.

A ausência do planejamento urbano na grande maioria das cidades brasileiras traz inúmeros problemas para a população em decorrência dos impactos da urbanização sobre o meio ambiente. Podemos citar, como exemplo, as enchentes urbanas, que podem desabrigar milhares de pessoas, gerar altos prejuízos econômicos e desenvolver doenças de veiculação hídrica, como a leptospirose e a malária, e problemas relativos à produção e ao transporte de cargas difusas de poluição, que podem prejudicar os corpos d'água (PORTO, 1995). Esse mesmo autor descreve que a urbanização e seus impactos sobre os recursos hídricos e o meio ambiente requerem abordagem integrada, que traga, para um mesmo núcleo de ações relativas à quantidade e qualidade da água, os aspectos de planejamento urbano, as interações entre os diversos usos do solo urbano e, principalmente, os aspectos institucionais e legais necessários

para o embasamento e a sustentabilidade das ações de prevenção e controle.

Segundo Schubart (1999), o zoneamento envolve o resultado de um processo político administrativo em que o conhecimento técnico, ao lado de outros critérios, é utilizado para fundamentar a adoção de diretrizes e normas legais visando atingir objetivos socialmente negociados, que implicam um conjunto de sanções ou incentivos sociais que restringem o uso de recursos e a ocupação do território. De acordo com Tucci e Genz (1995), as medidas de controle do escoamento podem ser classificadas de acordo com sua ação na bacia hidrográfica, que pode ser distribuída pela fonte, por microdrenagem e por macrodrenagem. A primeira atua sobre lote, praças e passeios por microdrenagem, agindo sobre o hidrograma.

As medidas de controle podem ser organizadas de acordo com sua ação sobre o hidrograma em cada uma das partes da bacia mencionada acima. Para o controle da infiltração e percolação, normalmente cria-se espaço para que a água tenha maior infiltração e percolação no solo. Podem-se utilizar pavimentos permeáveis que favorecem o fluxo subterrâneo visando diminuir o escoamento superficial.

O controle do armazenamento é realizado por reservatórios, que podem ser de tamanho adequado para uso numa residência (1-3 m<sup>3</sup>) até terem porte para a macrodrenagem urbana (alguns milhares de m<sup>3</sup>). O efeito do reservatório urbano é reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo. O controle do aumento de eficiência do escoamento se faz por meio de condutos e canais, drenando-se áreas inundadas. Este tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico quando utilizado em conjunto com reservatórios de detenção; diques e estações de bombeamento (TUCCI; GENZ, 1995). Martins (2012) elencou medidas estruturais e não estruturais para a gestão de drenagem urbana (Quadro 1).

## Quadro 1 – Medidas para a Gestão de Drenagem Urbana

<b>MEDIDAS ESTRUTURAIS</b>	<b>MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS</b>
Ampliação, modificação, retificação, revestimento, canalização dos cursos d'água naturais ou execução de galerias.	Reserva de área para lazer e atividades compatíveis para os espaços abertos, margens e entorno de lagos e rios.
Armazenamento ou desvio das águas a montante da região sujeita a inundações	Controle do uso do solo fora da área de inundação
Diques, muros e floodwalls	Securitização da área de risco de inundação
Alterações em pontes e travessias	Estruturas a prova de inundação e restrições de aproveitamento
Bacias de retenção, detenção e amortecimento	Sistema de Previsão, antecipação e alerta
Bacias de sedimentação, retenção de detritos e lixo	Tratamento das populações em encostas e áreas baixas
Wetlands e áreas de depuração in situ	Programa de manutenção e inspeção do sistema de drenagem
Parques lineares	Programa de ação emergencial
Repermeabilização e permeabilização artificial do solo	Manual de Drenagem e de gestão da drenagem
Relocação e demolição de estruturas	Educação Ambiental
Detenção em lotes, quadras, empreendimentos, jardins de chuva, telhado verde...	Institucionalização da drenagem urbana como serviço do estado

**Fonte:** Adaptado de MARTINS, 2012; RIGHETTO, 2009 e DAEE, 2010

Dessa forma, as principais medidas de controle distribuído ou na fonte são o aumento de áreas de infiltração e percolação e o armazenamento temporário em reservatórios residenciais. Na microdrenagem, por sua vez, são utilizados reservatórios de detenção como medida para controlar a vazão máxima, o volume de água e os materiais sólidos. Quanto às medidas de controle na macrodrenagem, é possível utilizar medidas estruturais, como canalização, reservatórios de amortecimento e diques, e medidas não estruturais, como zoneamento de áreas de inundações por meio da regulamentação de uso do solo, ocupação com áreas de lazer, educação ambiental, entre outras.

### 3.2 MEDIDAS MITIGATÓRIAS

A principal finalidade das medidas de controle compensatórias é promover a infiltração e o armazenamento das águas de chuva. Os benefícios da infiltração incluem a recarga das águas do subsolo, a redução do escoamento superficial e a melhoria da qualidade da água (ASCE, 1986). O objetivo principal das medidas que promovem o armazenamento é aumentar os tempos de concentração nas sub-bacias onde são implantadas e, conseqüentemente, os tempos de formação e trânsito da onda de cheia, diminuindo os picos dos hidrogramas. Como



principais medidas, citam-se: a) trincheiras drenantes; b) valas de infiltração; c) poços de infiltração; d) microrreservatórios ou reservatórios individuais e) pavimentos permeáveis (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

A seguir, apresenta-se uma compilação das principais medidas de controle na fonte, visto que o foco deste trabalho será uma delas – pavimentos permeáveis.

Quadro 2 – Dispositivo, características, vantagens e desvantagens de controle na fonte

Dispositivo	Características	Vantagens	Desvantagens
Planos e valas de infiltração com drenagem	Gramados, áreas com seixos ou outro material que permita a infiltração natural	Permite infiltração de parte da água para o sub-solo	Planos com declividade > 0,1% não devem ser usados; o material sólido para a área de infiltração pode reduzir sua capacidade de infiltração.
Planos e valas de infiltração sem drenagem	Gramados, áreas com seixos ou outro material que permita a infiltração natural	Permite infiltração da água para o subsolo	O acúmulo de água no plano durante o período chuvoso não permite trânsito sobre a área. Planos com declividade que permita escoamento.
Pavimentos permeáveis	Concreto, asfalto ou bloco vazado com alta capacidade de infiltração	Permite infiltração da água	Não deve ser utilizado para ruas com tráfego intenso e/ou de carga pesada, pois a sua eficiência pode diminuir
Poços de infiltração, trincheiras de infiltração e bacias de percolação	Volume gerado no interior do solo que permite armazenar a água e infiltrar	Redução do escoamento superficial e amortecimento em função do armazenamento.	Pode reduzir a eficiência ao longo do tempo, dependendo da quantidade de material sólido que drena para a área

Fonte: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli (2008)

### 3.3 DRENAGEM SUSTENTÁVEL

Segundo Parkinson *et al.* (2003), várias estratégias são necessárias para solucionar alguns desses problemas que não podem ser resolvidos simplesmente com a construção de grandes obras de drenagem. Estudos recentes realizados por países desenvolvidos têm apresentado um novo conceito sobre projetos de drenagem urbana. Os mesmos autores relatam que o desenvolvimento sustentável da drenagem tem o propósito de imitar o ciclo hidrológico natural. As estratégias de drenagem urbana sustentável englobam as ações estruturais, que consistem dos componentes físicos ou de engenharia como parte

integrante da infraestrutura, e as ações não estruturais, que integram todas as formas de atividades envolvendo as práticas de gerenciamento e mudanças de comportamento. Estes novos modelos acrescentam técnicas inovadoras da engenharia, como a construção de estacionamentos permeáveis e de canais abertos com vegetação a fim de atenuar as vazões de pico e reduzir a concentração de poluentes das águas de chuva nas áreas urbanas (PARKINSON *et al.*, 2003).

Com a rápida urbanização em países em desenvolvimento, como a China, por exemplo, áreas impermeáveis aumentaram drasticamente, causando aumento no escoamento urbano. Além disso, as mudanças climáticas têm ocasionado tempestades mais extremas e frequentes, enchentes urbanas e, portanto, uma série de novos problemas e desafios (BERTILSSON *et al.*, 2018; MUSTAFA *et al.*, 2018).

Pavimentos permeáveis vêm sendo uma medida de baixo impacto (LID) implementada para controlar o escoamento de águas pluviais nas áreas urbanas por meio do aumento de infiltração, principalmente nas áreas onde as superfícies impermeáveis são contínuas e extensas (ANDERSEN *et al.*, 1999; KAMALI *et al.*, 2017; LU *et al.*, 2019). Fassman e Blackbourn (2010), por exemplo, monitoraram simultaneamente o escoamento de águas pluviais de uma área teste de 200 m<sup>2</sup> de pavimento permeável e uma área em pavimento asfáltico convencional adjacente a essa mesma área, com 850 m<sup>2</sup> de captação, entre 2006 e 2008 em Auckland, Nova Zelândia, e os resultados indicam desempenho do pavimento permeável melhor que o do pavimento tradicional.

Apesar de seus benefícios, a capacidade de infiltração dos pavimentos permeáveis pode ser afetada por vários fatores, como materiais de superfície, estruturas, a inclinação de assentamento e a intensidade da chuva (LIU E CHUI, 2017). Para investigar tais efeitos e tentar aumentar o potencial de infiltração dos pavimentos permeáveis, alguns experimentos foram desenvolvidos por Kumar *et al.* (2016). Verificou-se o desempenho de infiltração de três seções de estacionamento com pavimentos

permeáveis (*pavers*, concreto permeável e asfalto permeável) ao longo de um período de quatro anos desde a construção. Houve apenas um declínio marginal na taxa de infiltração de todos os três pavimentos após um ano de uso e entre os dois a quatro anos, as taxas de infiltração diminuíram significativamente devido à obstrução dos poros, concluindo-se que esta alternativa também demanda manutenções periódicas.

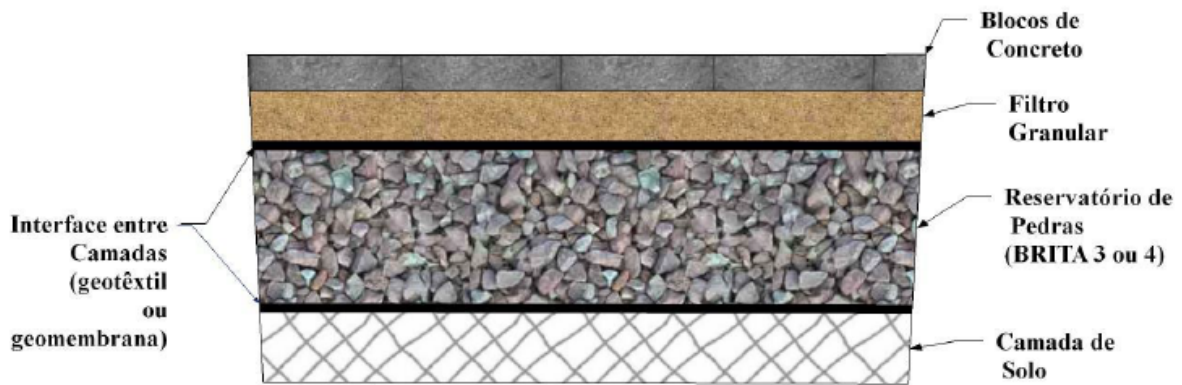
Valinski e Chandler (2015) concentraram-se no impacto de diferentes materiais na superfície de infiltração. Eles usaram seis materiais diferentes na camada superficial e descobriram que a taxa de infiltração do asfalto poroso foi o mais alto. Rahman *et al.* (2015) observaram que as propriedades geotécnicas e hidráulicas dos materiais de demolição (resíduos de construção civil) empregados na base e sub-base dos pavimentos eram equivalentes ou mesmo superiores aos dos materiais granulares típicos de pedreira. Alyaseri e Zhou (2016), por sua vez, fizeram um experimento, e os resultados mostram diferentes porcentagens de redução de diferentes tipos de pavimentos (36%, 13% e 46%) permeáveis (concreto, asfalto permeável e *pavers*, respectivamente).

### 3.4 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Pavimento permeável é 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 (Figura 5).

Outra definição, conforme Virgiliis (2009), para pavimento permeável é aquele que possui porosidade e permeabilidade significativamente elevadas de maneira a influenciar a hidrologia e causar algum efeito positivo ao meio ambiente.

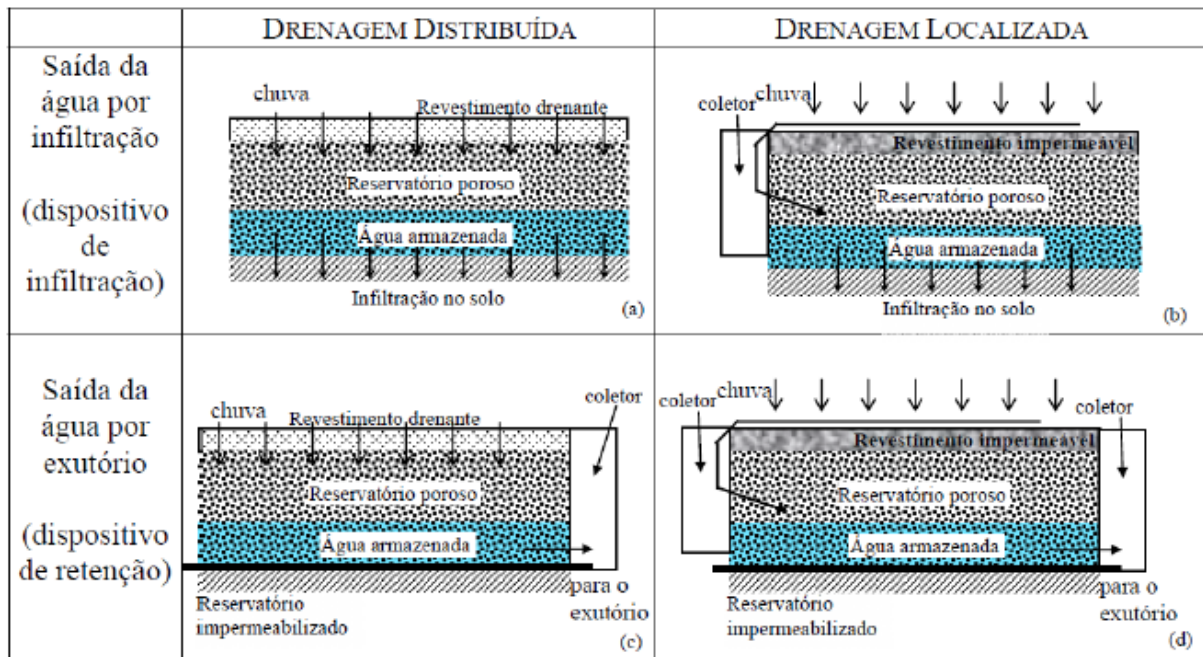
Figura 5 – Seção transversal do pavimento permeável



Fonte: Adaptado de Urbonas e Stahre (1993) *apud* Moura (2005, p. 20).

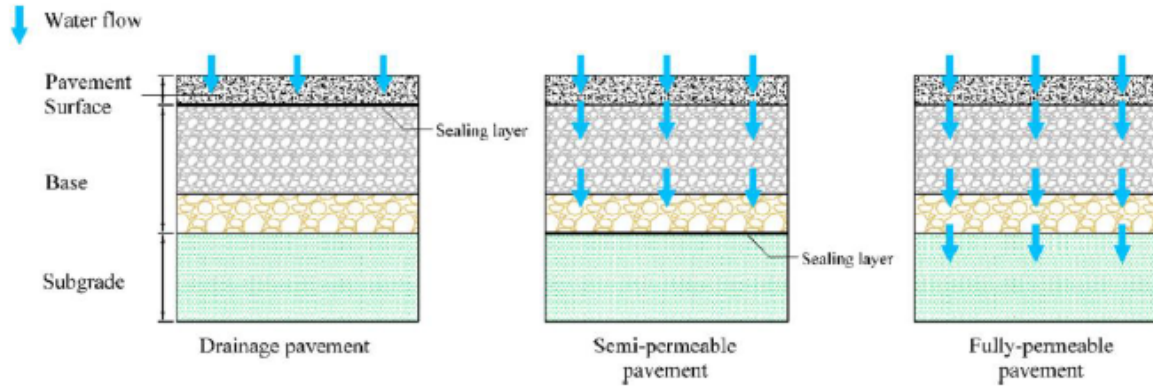
De acordo com Azzout (1994), citado por Acioli (2005), existem quatro tipos de pavimentos permeáveis (Figura 6 e 7), que podem ter revestimento drenante ou impermeável e ainda a função de infiltração ou armazenamento.

Figura 6 – Tipos de pavimentos com estrutura reservatório



Fonte: Azoutt (1994) *apud* Acioli (2005) p. 11

Figura 7 – Pavimentos permeáveis



Fonte: ZHU, Yuxin *et al.*(2021)

Os pavimentos permeáveis possuem certas vantagens em relação aos pavimentos convencionais que podem ser destacadas abaixo, segundo (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013):

1. Permitem a recarga do lençol freático;
2. A construção dos dispositivos de infiltração é normalmente simples e rápida;
3. Integram-se completamente à obra; não requerem espaço exclusivo para eles;
4. Melhoram a qualidade das águas infiltradas ou mesmo das encaminhadas para o sistema de drenagem;
5. Reduzem significativamente o volume de escoamento superficial, promovendo o amortecimento dos picos de cheia com o aumento do tempo de concentração da bacia onde o dispositivo está instalado;
6. Controlam a erosão do solo;
7. Filtram os poluentes;
8. Economia em função da redução ou eliminação do sistema de microdrenagem;
9. Aumentam a segurança e o conforto das vias pela diminuição de derrapagens e ruídos;
10. Seus custos são similares aos dos pavimentos convencionais.

Segundo (LIU; LI; PENG, 2018) O efeito da ilha de calor é caracterizado por temperaturas mais altas em áreas urbanas do que em áreas rurais. Isso acontece devido às mudanças nas características da cobertura do solo

com a supressão de vegetação e a evapo-transpiração. Estudos comprovam que o pavimento permeável pode contribuir para a mitigação da ilha de calor, sendo que a redução da temperatura pode chegar a 9,4°C.

Além dos benefícios, foram observadas as desvantagens na utilização deste tipo de pavimento:

1. Pouco conhecimento da tecnologia e imperícia com relação à sua aplicação;
2. Tendência de o pavimento poroso se tornar obstruído se for instalado ou conservado inapropriadamente;
3. Risco de falha considerável no pavimento poroso devido à colmatação ou má Construção;
4. Risco de contaminação do aquífero, dependendo das condições do solo e de sua susceptibilidade nas imediações;
5. Colmatação dos poros;
6. Falta de análise de custo.

É importante ressaltar que a infiltração através dos pavimentos permeáveis pode ser afetada pela grande quantidade de sedimentos em suspensão presentes nas águas pluviais, que podem entupir a estrutura e, com o tempo, reduzir o desempenho do tratamento, comprometendo sua vida útil.

Assim, é preciso avaliar onde este tipo de pavimento será implantado para que todos os pontos e contrapontos sejam levados em consideração na escolha adequada de forma a viabilizar sua utilização.

### 3.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Estudos desenvolvidos por Yuxin *et al.* (2021), na China, analisaram diferentes cenários de pavimentos permeáveis a fim de obter estudos de custos e benefícios. A estrutura consistia em quatro critérios principais:

aspectos hidrológicos (controle de escoamento), aspectos hidráulicos (melhorias nos sistemas de drenagem), purificação da água e custos econômicos. Primeiro, cinco alternativas, ou seja, SC1 a SC5, eram desenvolvidas de acordo com as condições da área de estudo. Depois, as opiniões de ambos os especialistas e os resultados de simulação de SWMM (*storm water management model*) foram usados como entradas para construir matrizes de comparação difusas. As principais conclusões foram:

1. Pavimentos permeáveis são significativamente eficazes na redução dos coeficientes de escoamento de pico. No entanto, a mitigação do efeito para o escoamento de pico é consideravelmente sensível à chuva. Em termos de qualidade da água, os resultados foram os esperados. Cenários envolvendo uma área permeável maior e uma estrutura mais espessa e porosa tiveram desempenho melhor que em outros.
2. Pavimentos permeáveis podem aliviar as cargas de drenagem do sistema em certa medida. Como os pavimentos permeáveis podem armazenar a infiltração da água de chuva, o TFV (*Total Flood Volume*) e o NFN (*Number of Flooding Nodes*) diminuirão. No entanto, para áreas cujos sistemas de drenagem têm um limite de capacidade para lidar com tempestades, a adoção de pavimentos permeáveis ainda pode ajudar a reduzir o TFV, mas não reduz drasticamente o NFN.
3. Quanto aos layouts, a adoção de DP (*Drainage Pavements*) ou SP (*Semi-Permeable Pavements*) em faixas de veículos não pode melhorar significativamente o desempenho em termos de aspectos hidrológicos, hidráulicos e de qualidade da água. Portanto, estas abordagens não são econômicas para a gestão de águas pluviais. No entanto, os DP e SP ainda podem ser usados para melhorar a resistência à derrapagem em dias chuvosos e para aliviar efeitos de ilha de calor urbana, que não foram considerados neste estudo. Para áreas com baixos requisitos mecânicos (como calçadas e praças), o PP (*Permeable Pavements*) é um método econômico e eficaz de

gestão de águas pluviais. Embora ambos adotem uma área maior ou uma estrutura mais espessa de PP, a primeira abordagem é preferida como capacidade de armazenamento e pode ser totalmente utilizada, mesmo sob eventos de baixa precipitação.

Estas conclusões podem ser usadas como referência para áreas semelhantes em países em desenvolvimento com os devidos ajustes e podem, assim, fornecer insights sobre a seleção de critérios relacionados ao meio ambiente diretamente ligados à opção de utilizar ou não meios mitigatórios relacionados a um menor custo.

No entanto, este estudo tem limitações em termos de critérios ambientais (como análise do ciclo de vida, recargas de água subterrânea e calor urbano ou efeitos de ilha) e sociais (aceitação) e ambos devem ser considerados no custo para a implantação deste tipo de pavimento.

A fim de melhorar o planejamento de águas pluviais, estudos realizados em Berlim por Daniel Johnson e Sylvie Geisendorf (2019) avaliaram monetariamente o ecossistema comparando diferentes cenários de medidas alternativas e fizeram a CBA (*cost-benefit analysis*), conforme sugerem muitos estudos internacionais. Portanto, o presente estudo contribui para a literatura sobre a valoração dos serviços ecossistêmicos em contextos urbanos e fornece um método para comparar o desempenho econômico de diferentes cenários de sistemas sustentáveis de drenagem urbana, ou SUDS (*sustainable urban drainage systems*).

No projeto foram analisados vários benefícios não monetários dos cenários, como a biodiversidade, o efeito da ilha de calor urbana e os efeitos no recebimento de corpos d'água. No entanto, vários serviços ecossistêmicos permanecem não quantificados e não valorizados. Ao quantificá-los e monetizá-los, realiza-se uma análise mais informada dos cenários. A CBA do presente estudo baseia-se na literatura dos benefícios públicos e privados e nos serviços ecossistêmicos de componentes de SUDS. Os benefícios privados são benefícios monetários acumulados para



indivíduos privados, a empresa de água, a empresa de obras ou a própria cidade, são avaliados em uma análise financeira tipicamente usando métodos de preço de mercado, pois derivam de produtos comercializados. Os benefícios sociais são aqueles que não têm valor monetário, pois não há mercado para eles, mas podem ser avaliados monetariamente usando-se diversos métodos.

No estudo citado foram calculados os custos de instalação da unidade e os custos de operação e manutenção. Assumiu-se que o pavimento permeável não traga custos adicionais, como ocorre com o pavimento convencional. Como a empresa de abastecimento de água em Berlim cobra uma taxa de água da chuva de €1,804/m<sup>2</sup> por imóvel, os proprietários com escoamento superficial drenando para o sistema de esgoto (Berliner Wasserbetriebe, 2017) usufruem um benefício de redução desta taxa correspondente à medida SUDS implementada. A taxa é cobrada por metro quadrado de terreno drenado e área de cobertura. Os pavimentos permeáveis obtêm redução de aproximadamente 85%. Enquanto a redução da taxa de água da chuva representa um benefício monetário direto para o proprietário do imóvel, a sociedade se beneficia de um produto mais limpo, pois recebe água como resultado da redução do escoamento. O local do estudo está localizado no sistema de esgoto separado de Berlim, que drena diretamente as águas pluviais para o Rio Panke. A água da chuva acumula poeira, metais pesados e vestígios orgânicos, substâncias que são lavadas das ruas pelas superfícies impermeáveis. Eles assumiram que a redução do escoamento atingiria apenas uma qualidade moderada da condição da água, visto que também existem outras fontes de poluição no rio.

Nesse estudo, o custo para implantação com cenário misto SUDS, em que a utilização de pavimentos permeáveis é mais relevante, os valores variaram entre +/- 3% em relação aos dos pavimentos convencionais. Sendo mínimo o custo de implantação, apura-se uma taxa de retorno com os benefícios tantos sociais e privados em um período considerado

no estudo de 50 anos e mostraram que é possível alcançar SUDS economicamente viáveis.

Outros estudos feitos por TERHELL, S.-L. *et al.* (2015) determinaram que o uso de pavimentos permeáveis levarão a um maior benefício monetário que o uso de asfalto regular. Para descobrir isso, realizaram uma análise de custo ao longo de um período de 25 anos comparando os diferentes tipos de pavimento para cobrir certa metragem de área. Constataram que pavimentos permeáveis são uma alternativa valiosa para o asfalto comum. O asfalto poroso, por exemplo, é o material de superfície disponível mais barato, mas suas aplicações são limitadas devido à sua baixa capacidade de suportar peso. Ele seria melhor para ciclovias ou trilhas para caminhada. Para estradas de alto tráfego, *pavers* permeáveis ou concreto permeável seriam ideais. Uma estratégia de superfícies mistas para a gama de aplicações não representaria apenas uma economia em relação à vida da superfície, mas também eliminaria grande parte do tratamento de água de escoamento advinda das superfícies de asfalto atuais. Esta aplicação representa uma transição suave e econômica para superfícies urbanas permeáveis. Se o estudo optasse por implementar uma transição maior para superfícies permeáveis, isso diminuiria o custo de manutenção de superfície e o volume de tratamento de água de escoamento.

Segundo DNIT (2003), a elaboração do orçamento deve ser precedida de estudo preliminar em que são estabelecidas as linhas gerais do Plano de Execução de Obra. O modo como a obra é executada influi diretamente em seu custo. Na etapa de orçamento de uma obra de pavimentação, o engenheiro estabelece os itens que o constituirão, como transporte, materiais, serviços e mão de obra. Conhecidos os serviços no orçamento da obra, deverão ser selecionadas as composições mais adequadas para o caso. Estes quantitativos de serviços devem ser levantados nos respectivos Projetos Finais de Engenharia, que em geral contêm um Quadro de Quantidades. O Preço Total da Obra é obtido pelo simples somatório do valor de todos os serviços necessários para a sua execução integral. Este preço pode ser apresentado em diferentes níveis de

agregação, explicitando subtotais referentes à otimização do orçamento, em grau de detalhamento conveniente ao fim a que este se destina.

### 3.6 CAMADA SUPERFICIAL

O material desta camada deve resistir às solicitações impostas pelo tráfego (deformação vertical, cisalhamento) e permitir a infiltração. Sua escolha se dará por seu uso e capacidade de infiltração. Outros aspectos também devem ser considerados, como custo, disponibilidade, manutenção, estética, acústica e aderência (Azzout (1994) *apud* Acioli (2005)).

### 3.7 MATERIAL DO RESERVATÓRIO

Conforme Acioli (2005), o material utilizado nesta camada deve transmitir as solicitações aplicadas na camada superior para o solo suporte e também deverá armazenar a água da chuva até sua infiltração ou drenagem pela rede lateral. A autora afirma, ainda, que ele 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 utilizado para esta camada do pavimento é a brita com diâmetro maior que 10 mm.

### 3.8 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO E HIDROLÓGICO DO RESERVATÓRIO

O dimensionamento fornecerá a altura do reservatório, que deverá ser grande o suficiente para acomodar o volume recebido pela superfície permeável. A precipitação é obtida com base no tempo de retorno, subtraindo-se o volume que infiltra no solo ou é drenado para a rede. Esta altura deverá ser comparada com a altura resultante do dimensionamento mecânico, adotando-se a maior altura encontrada. Como neste caso não será feito o dimensionamento mecânico, pois o pavimento não estará submetido a tráfego, a altura será o valor obtido no dimensionamento hidráulico-hidrológico.

O dimensionamento hidrológico-hidráulico do pavimento em blocos pré-moldados será elaborado de acordo com método proposto pelo Interlocking Concrete Pavement Institute, adaptado do Standard Specifications for Infiltration Practices (ABNT, 2015), conforme equação(1):

$$H_{m\acute{a}x} = \frac{\Delta Q_c R + P - f T_e}{V_r} \quad (1)$$

$H_{m\acute{a}x}$  é a profundidade da camada de base granular (m);

$\Delta Q_c$  é a precipitação excedente da área de contribuição para uma chuva de projeto (m);

$R$  é a relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável

( $A_c/A_p$ );

$A_c$  é a área de contribuição (m<sup>2</sup>);

$A_p$  é a área de pavimento permeável (m<sup>2</sup>);

$P$  é a precipitação de projeto (m);  $f$  é a

taxa de infiltração no solo (m/h);

$T_e$  é o tempo efetivo de enchimento da camada de reservatório;  $V_r$

é a porosidade do material de base/reservatório.

### 3.9 BUILDING INFORMATION MODELING (BIM)

Este tópico tem como finalidade apresentar os conceitos e as definições da Modelagem da Informação da Construção (BIM).

#### 3.8.1 Conceitos Gerais

Segundo VIGNALI, Valéria *et al.* (2021), o Building Information Modeling (BIM) é um método relativamente novo para a indústria da construção, desenvolvido nos últimos anos em muitos países. A expressão “BIM” foi cunhada pelo Professor Charles M. Eastman no ano de 1970 e significa “modelagem computadorizada da construção civil”. É baseada em um processo que organiza as informações sobre as realizações. É um método de design mais avançado para dados, gráficos e documentos técnicos relativos à construção. Não é apenas uma representação computacional, mas também um modelo que é compartilhado e se destaca como a primeira etapa no desenvolvimento do AECOO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operadores Proprietários) no mundo. Para isso, o conceito

BIM vem sendo expandido para áreas de especialização para as quais não havia sido concebido originalmente.

Seu sucesso se deve principalmente a uma nova abordagem de design que permite acompanhar todo o ciclo de vida do projeto, incluindo informações adicionais, muito úteis para ver em profundidade cada aspecto, como cronograma, gestão financeira, cálculos e simulações. Esta nova abordagem não é apenas nova, mas também inclui análise de sustentabilidade. Todos esses recursos podem reduzir significativamente o tempo de design pois proporcionam controle em tempo real e reduzem os custos ao fazer uma representação mais eficaz do modelo. Cada elemento está conectado com os materiais, os fornecedores e as características de design de acordo com os custos e a gestão organizacional. Desta forma, é possível trabalhar remotamente no mesmo arquivo, de diferentes posições, resolvendo o importante problema da troca de dados e informações entre as várias figuras que se aproximam do projeto. Para obter essas condições, a emissão de normas e diretrizes é muito importante. Procedimentos e métodos compartilhados, bem como padronizados documentos, são a base para a criação de uma linguagem e modalidades comuns de abordagem entre as partes interessadas. A interoperabilidade se torna um requisito fundamental, pois é um elemento importante entre diferentes programas e disciplinas BIM para padronizar o fluxo de trabalho. Em um passado não muito distante, praticamente todos os projetos produzidos mundialmente eram executados com o uso de papel, lápis e borracha. Dessa forma, qualquer mudança no projeto, por menor que fosse, praticamente significava recriar todo o desenho desde o rascunho. Se essa mudança repercutisse em outros documentos ou plantas, a empresa deveria ter alguém em seu quadro que fosse hábil o suficiente para redesenhá-la ou, se não fosse o caso, se fazia necessário o envio das mudanças para o projetista para que ele as efetuasse, o que demandava muito tempo.

### 3.8.2 As Vantagens do BIM

Apesar das dificuldades em sua implementação pelo fato de ser algo relativamente novo, os benefícios gerados pelo BIM são excelentes e levam a engenharia a um novo patamar de otimização de processos e eficiência. Para a engenharia civil, seus benefícios são inúmeros, já que pode ser usado para execução de projetos estruturais, compatibilização de projetos, execução em campo, elaboração, execução e gerenciamento de projetos de infraestrutura e principalmente análise de viabilidade para implantação de projetos em curto intervalo de tempo.

### 3.8.3 Programas Utilizados

Os programas AutoCad Civil 3D e Infracore são algumas das diversas ferramentas disponíveis. Ambos utilizam a metodologia BIM e são designados para o uso em obras de infraestrutura.

#### 3.8.3.1 Autocad Civil 3D

O software para projeto de engenharia Civil 3D® dá suporte à Modelagem da Informação da Construção (BIM) com recursos integrados para aprimorar a documentação de desenhos, projetos e construção.

#### 3.8.3.2 Infracore

O software Infracore tem o objetivo de trazer o projeto de uma obra de engenharia para o contexto real onde ela será construída. Trata-se de um moderno programa de engenharia que integra as tecnologias BIM e GIS em um só modelo inteligente e em 3D.

## **4 METODOLOGIA**

Trata-se de uma pesquisa de natureza aplicada, por meio da abordagem quantitativa, de natureza exploratória e procedimento bibliográfico. Para o desenvolvimento deste trabalho, será realizado um projeto-piloto de uma macrodrenagem formada por oito quadras, contendo as diretrizes do PDU (Plano Diretor Urbano) do Município da Serra no Estado do Espírito

Santo. Neste projeto-piloto será dimensionado o arruamento em pavimentos permeáveis do tipo bloco de concreto com e sem juntas alargadas e também pavimento tradicional em bloco de concreto, utilizando sistema de drenagem convencional do tipo sarjetas, caixa ralo, caixa de inspeção e tubulações em anéis de concreto, para posteriormente ser feito um comparativo de custo entre ambos.

A fim de otimizar os resultados, utilizaremos diversos parâmetros neste dimensionamento, tais como: curvas de níveis do terreno, agregado da base e sub-base do pavimento, diferentes tempos de retornos da chuva e distância média dos fornecedores de diversos insumos para os parâmetros no quesito custo.

Após os estudos desenvolvidos sobre os temas acima citados, utilizaremos a metodologia BIM para modelar os dimensionamentos com o objetivo de comparar quantitativos, orçamentos e variáveis geradas pelos modelos e tornar práticas as informações necessárias para a escolha do tipo de pavimento a ser empregado em futuros empreendimentos, tendo como critério de avaliação o custo x benefício entre os tipos de pavimentos adotados. No caso abordado neste trabalho, adotaremos um modelo-piloto (Figura 9), onde utilizaremos ruas com características geométricas padrão ao plano diretor urbano da cidade de Serra no Estado do Espírito Santo e características hidrológicas da região.

Serão usados os programas AutoCad Civil 3D e Infraworks para demonstrar como é facilitada a visualização do projeto em suas condições reais de localização, como se podem extrair informações do modelo do projeto criado (levantamento de quantitativos, por exemplo) e como estes programas contribuem para a otimização dos projetos de obras de infraestrutura.

Esse tipo de software ainda não é muito popular no Brasil. Dessa forma, será utilizado o próprio conteúdo gratuito disponibilizado por seu fabricante, a Autodesk, no seu portal

Universidade Autodesk para adquirir o conhecimento necessário para a criação dos modelos utilizados como estudo neste trabalho. Também serão utilizadas videoaulas fornecidas por sites norte-americanos da área para o esclarecimento dos conceitos destes programas.

O Quadro 3 sintetiza a metodologia adotada neste trabalho, seus objetivos, as atividades realizadas e os resultados esperados para cada uma delas no que se refere ao BIM.

Quadro 3 – Avaliações sobre o uso do BIM

<b>OBJETIVO GERAL:</b>	Avaliar o uso do BIM para o estudo de obras de infraestrutura viária.		
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>METODOLOGIA</b>		
	<b>ATIVIDADES</b>	<b>FERRAMENTAS</b>	<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>
<b>1- Conhecer os conceitos e aplicações da metodologia BIM em obras de infraestrutura.</b>	Revisão bibliográfica sobre a aplicação do BIM em obras de infraestrutura.	Artigos, monografias, teses, dissertações, livros, etc.	Ampliar o conhecimento sobre a metodologia BIM para poder aplicá-lo ao ambiente profissional.
<b>2- Aplicar a metodologia BIM para o estudo de uma obra de infraestrutura viária.</b>	Buscar conhecimento sobre como usar os programas AutoCAD Civil 3D e Infracad através de Videoaulas, Tutoriais e Cursos.	Softwares AutoCAD Civil 3D e Autodesk Infracad.	Aprender a utilizar <i>softwares</i> BIM e poder aplicar esse conhecimento à engenharia.
<b>3- Identificar os principais benefícios que o uso da metodologia BIM traz para o estudo de obras de infraestrutura viária.</b>	Pesquisar o uso da metodologia BIM em situações reais através de estudos de caso os resultados obtidos com esse uso.	Artigos, monografias, teses, dissertações, livros, etc.	Obter informações sobre benefícios e possíveis malefícios na implantação dessa nova metodologia.
<b>4- Avaliar o uso da metodologia BIM para a otimização de processos dentro das obras de infraestrutura viária.</b>	Aplicar o uso da metodologia a uma situação prática e analisar os benefícios. Extrair informações de estudos de caso já realizados por empresas.	Artigos, monografias, teses, dissertações, livros, Estudos de Caso, <i>Softwares</i> AutoCAD Civil 3D e Infracad.	Identificar os pontos positivos na utilização da metodologia BIM em obras de construção pesada.

Fonte: Autor.

Para o desenvolvimento do presente trabalho, será apresentada uma caracterização do trecho urbanístico e, posteriormente, serão expostas as funcionalidades e as ferramentas utilizadas, fornecendo uma breve introdução dos benefícios obtidos por cada uma delas e um fluxo de



trabalho que deve ser obedecido entre elas para melhor aproveitamento de suas funcionalidades.

Após a apresentação das ferramentas, serão abordados os procedimentos utilizados para a confecção do projeto da obra, começando pela modelagem do terreno a partir de uma base de dados pré-definida, definição do traçado, cálculo de volumes e materiais, documentação e visualização do modelo final.

#### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

Foi desenvolvido um projeto-modelo com o objetivo de estudar a utilização dos pavimentos permeáveis em um sistema de macrodrenagem sob a justificativa da pavimentação para esta sub-bacia ainda ser um projeto-piloto e podermos simular, neste mesmo projeto, a utilização de pavimentos e drenagem convencional para comparações de custo entre eles.

Para a realização do estudo, consideramos um projeto-piloto desenvolvido com base no manual de orientação à aprovação de parcelamento do solo para fins urbanos / Secretaria de Estado de Economia e Planejamento... [et al.] Vitória-ES, 2006, e o plano diretor urbano do Município da Serra no Estado do Espírito Santo.

Nos loteamentos da região metropolitana do Município da Serra, deverão ser observados os seguintes requisitos:

I – Os lotes terão área mínima de 200 m<sup>2</sup> (duzentos metros quadrados) e frente mínima de 10 m (dez metros) em qualquer hipótese, prevalecendo as disposições de lei municipal, se existir;

II – Quando o loteamento se destinar à edificação de conjuntos habitacionais de interesse social, o lote terá área e testada mínima de 125 m<sup>2</sup> (cento e vinte e cinco metros quadrados) e 7 m (cinco metros), respectivamente, salvo maiores exigências da legislação municipal;

III – Vias de circulação pavimentadas, meio-fio e sarjetas;

IV – Solução para coleta e escoamento das águas pluviais, podendo-se aceitar soluções alternativas, desde que aprovadas e licenciadas pelos órgãos ambientais competentes;

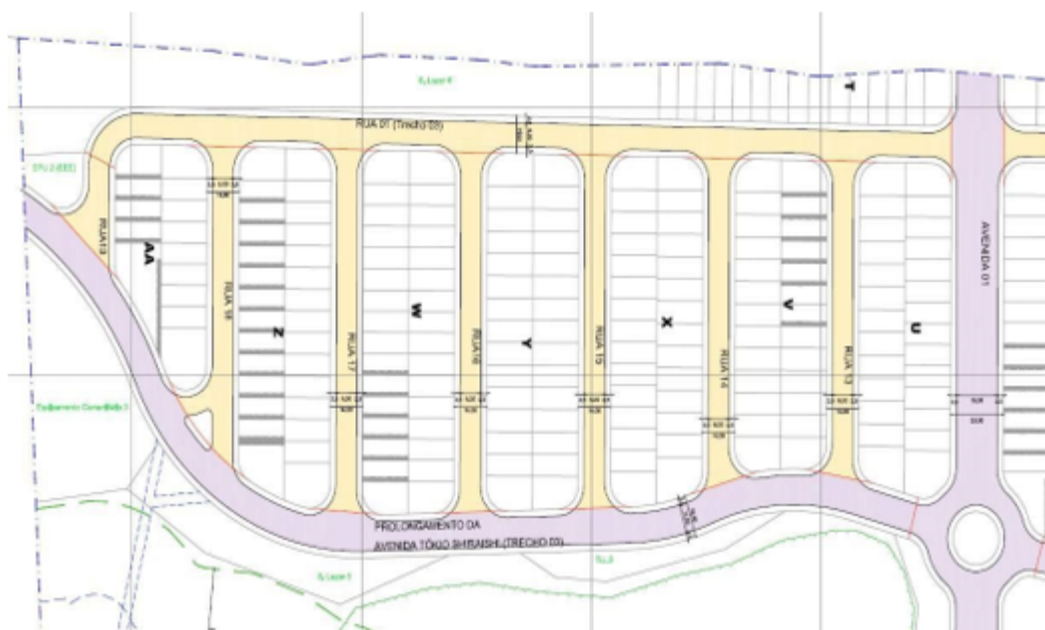
V – Rede de abastecimento de água potável;

VI – Solução para esgotamento sanitário, podendo-se aceitar soluções alternativas, desde que aprovadas e licenciadas pelos órgãos ambientais competentes;

Todo o trabalho será desenvolvido conforme as características do projeto-protótipo apresentado na Figura 9, que foi idealizado com as características do plano diretor urbano do Município da Serra no Estado do Espírito Santo.

Este protótipo foi criado com o formato de 7 quadras, arruamento primário e secundário de forma a representar bem a área estudada.

Figura 9 – Projeção da utilização dos pavimentos permeáveis em um sistema de microdrenagem urbana



Fonte: Autor.

## 4.2 DIMENSIONAMENTO MECÂNICO

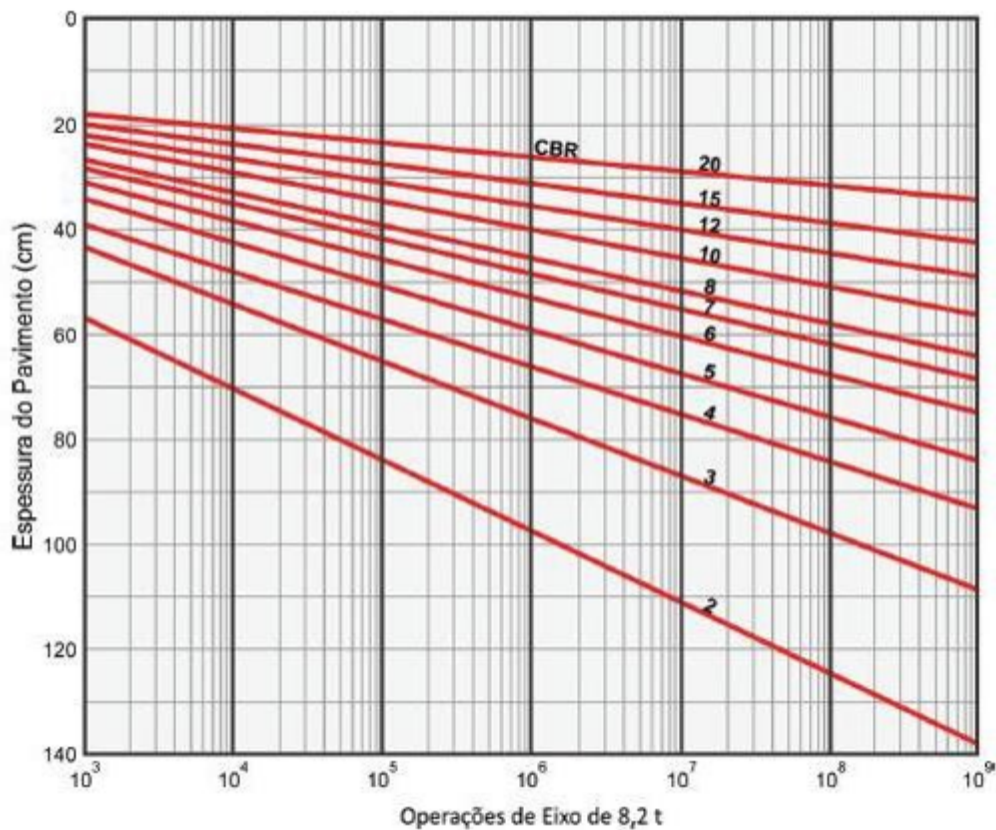
Para o dimensionamento mecânico do pavimento de projeto-piloto, será utilizado o número “N”, igual a  $10^5$ , que segundo a Prefeitura do Município de Serra-ES, na instrução de projeto IP\_02/2004, refere-se a tráfego leve correspondente a ruas para as quais não é prevista a passagem de caminhões e ônibus, podendo existir ocasionalmente passagem de caminhões e ônibus em número não superior a 20 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por número “N” típico  $10^5$ , solicitações do eixo simples padrão (80 kN) para o período de 10 anos.

## 4.3 CÁLCULO DA ESPESSURA TOTAL DO PAVIMENTO

O cálculo da espessura total do pavimento será realizado pelo ábaco abaixo.

Em função das características adotadas no projeto-piloto (Figura 9), será utilizada uma espessura de 20 cm para o pavimento para um CBR de 20.

Figura 10 – Cálculo da espessura total do pavimento



Fonte: (SÃO PAULO, 2005)

#### 4.4 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

Os parâmetros hidrológicos e hidráulicos serão determinados com base em dados de “Altura-Duração-Frequência das Chuvas Intensas no Estado do Espírito Santo” registrados em pluviógrafos localizados na região da grande Vitória no Estado do Espírito Santo. Será utilizada a equação (2) abaixo (SARMENTO, 1985) para determinar a intensidade das chuvas no dimensionamento da microdrenagem:

$$i = \left( \frac{KT^m}{t + b} \right)^n \quad (2)$$

Onde:

- $i$  é a intensidade pluviométrica em mm/min;
- $T$  é o tempo de recorrência da chuva considerada em anos (Período de Retorno);
- $t$  é o tempo de concentração da chuva, em minutos;
- $K$ ,  $m$ ,  $n$  e  $b$  são parâmetros locais típicos para a cidade.

Os parâmetros da equação de chuva intensa são obtidos por meio de regressão não linear com base nas informações extraídas de pluviogramas. Para esta análise, será utilizado o período de retorno entre 5 e 10 anos.

Determinada a intensidade  $i$  mm/mim, será utilizado o método racional para determinar a vazão de projeto pela equação (3):

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A \quad (3)$$

Em que:

$Q$  é a vazão em  $m^3/s$ ;

$C$  é o coeficiente de escoamento superficial;

$i$  é a intensidade máxima média da chuva (mm/h);

$A$  é área de contribuição drenada ( $Km^2$ ).

Será adotado o coeficiente  $C = 0,40$  para o arruamento em blocos de concreto poroso e  $C = 0,78$  para os blocos de concreto. A área de contribuição será composta pelos lotes, calçadas e arruamento. Será calculado um coeficiente de escoamento ponderado para a área do projeto considerando que 80% da área dos lotes é impermeável, com coeficiente  $C$  de 0,85, e 20% de área dos lotes é permeável (jardins, gramados, etc.), com coeficiente  $C$  de 0,15.

#### 4.5 TAXA DE INFILTRAÇÃO DO SUBLEITO

A taxa de infiltração no solo deve ser determinada pelos métodos previstos na ABNT NBR 13.292 ou ABNT NBR 14.545. A ABNT NBR 16.416, por sua vez, informa valores típicos dos coeficientes de permeabilidade em função do grau de permeabilidade do solo.

Por serem solos arenosos, com predominância de macroporos, a taxa de infiltração é elevada e ocorre uma drenagem livre da água em profundidades inferiores a dois metros (Figura 11).

Figura 11 – Permeabilidade dos tipos de solo

Permeabilidade		Tipo de solo	K (cm/s)	K (m/h)
Solos Permeáveis	Alta	Pedregulhos	$>10^{-3}$	$>3,6$
	Alta	Areias	$10^{-3}$ a $10^{-5}$	3,6 a 0,036
	Baixa	Siltes e	$10^{-5}$ a $10^{-7}$	0,036 a 0,00036
Solos Impermeáveis	Muito	Argila	$10^{-7}$ a $10^{-9}$	0,00036 a
	Baixíssima	Argila	$<10^{-9}$	$<0,0000036$

Fonte: (ABNT, 2015)

#### 4.6 DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DO PAVIMENTO

##### PERMEÁVE

O dimensionamento hidrológico-hidráulico do pavimento em blocos pré-moldados será elaborado de acordo com método proposto pelo Interlocking Concrete Pavement Institute (SMITH, 2001), adaptado do Standard Specifications for Infiltration Practices (ABNT, 2015), de acordo com a equação (4):

$$H_{m\acute{a}x} = \frac{\Delta Q_c R + P - f T_e}{V_r} \quad (4)$$

Onde:

$H_{m\acute{a}x}$  é a profundidade da camada de base granular (m);

$\Delta Q_c$  é a precipitação excedente da área de contribuição para uma chuva de projeto (m);

$R$  é a relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável ( $A_c/A_p$ );

$A_c$  é a área de contribuição ( $m^2$ );

$A_p$  é a área de pavimento permeável ( $m^2$ );

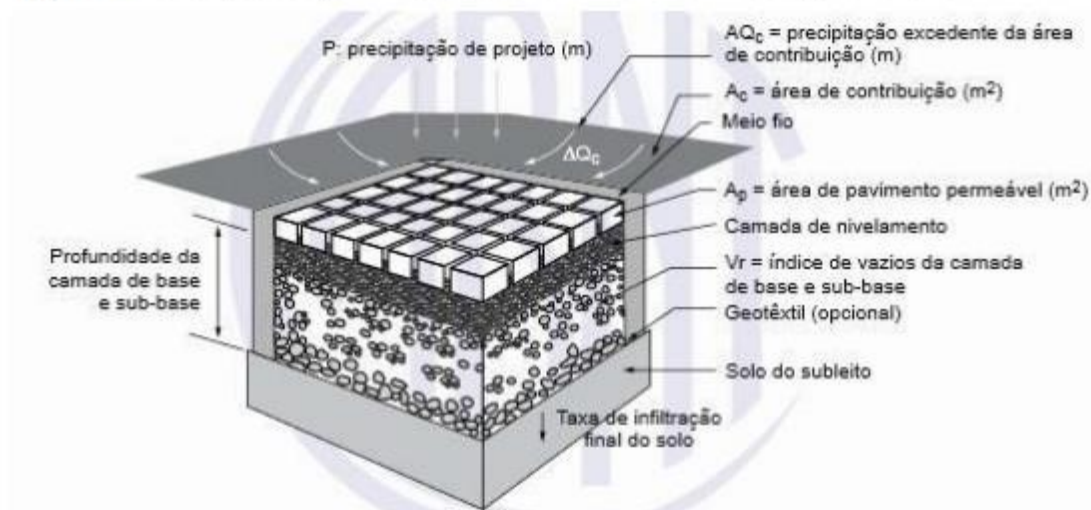
$P$  é a precipitação de projeto (m);  $f$  é a

taxa de infiltração no solo (m/h);

$T_e$  é o tempo efetivo de enchimento da camada reservatório;  $V_r$

é a porosidade do material de base/reservatório.

Figura 12: Ilustração dos parâmetros de dimensionamento hidrológico-hidráulico



Fonte: ABNT (2015)

#### 4.7 PRECIPITAÇÃO EXCEDENTE

Serão utilizados o método SCS (*Curve Number*) e as metodologias para determinação de escoamento superficial direto. O método SCS é amplamente utilizado por meio das equações (5), (6) e (7) abaixo, adotando-se o CN obtido nos Quadros 2 e 3 e a fórmula abaixo:

$$Pe = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia} + S \quad (5)$$

$$Ia = 0,2 \times S \quad (6)$$

Na qual:

$Pe$  = precipitação efetiva (mm);

$P$  = precipitação total (mm);

$Ia$  = perdas iniciais por retenção na bacia;  $S$

= armazenamento do solo.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (7)$$

Na qual:

S = armazenamento do solo;

CN = Número de curva.

O parâmetro CN é um indicativo do potencial de infiltração do solo e varia de 0 a 100. Quanto menor o potencial de infiltração do solo, maior o CN. O CN varia em função da permeabilidade do solo, da cobertura vegetal, do tipo de superfície e da umidade anterior do solo. O Quadro 2 apresenta essas capacidades conforme o grupo hidrológico do solo.

Quadro 2: Classificação dos grupos hidrológicos dos solos e sua capacidade de infiltração (método SCS)

<b>Grupo Hidrológico do Solo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Capacidade de Infiltração (cm/h)</b>
A	Areias e cascalhos profundos ( $h > 1,50$ m), muito permeáveis, com alta taxa de infiltração, mesmo quando saturados. Teor de argila até 10%	1,20 - 0,80
B	Solos arenosos com poucos finos, menos profundos ( $h < 1,50$ m) e permeáveis. Teor de argila de até 10%	0,80 - 0,40
C	Solos pouco profundos com camadas sub-superficiais que impedem o fluxo descendente da água, ou solos com porcentagem elevada de argila (20%-30%)	0,40 - 0,15
D	Solos compostos principalmente de argilas (acima de 30%) ou solos com nível freático elevado, ou solos com camadas argilosas próximas à superfície, ou solos rasos sobre camadas impermeáveis	0,15 - 0,00

Fonte: Canholi, 2014

As condições de umidade antecedente utilizadas pelo método se baseiam na quantidade de chuva acumulada nos 5 dias anteriores. São elas:

Condição I: Solos secos, ou com precipitações acumuladas menores que 15 mm nos 5 dias anteriores.

Condição II: Situação média dos solos na época de cheias, com precipitações acumuladas entre 15 a 40 mm. Essa condição é normalmente utilizada para determinar os hidrogramas de escoamento superficial em vazões de projeto.



Condição III: Solos úmidos, em que as precipitações acumuladas nos 5 dias anteriores ultrapassam o valor de 40 mm de chuva.

O Quadro 4 fornece os valores de CN para diferentes tipos de ocupação e para os 4 grupos hidrológicos. Os valores de CN apresentados correspondem à condição II de umidade, que pode ser convertida para as demais pelas equações (8) e (9):

$$CN(I) = \frac{4,2xCN(II)}{10 - (0,058xCN(II))} \quad (8)$$

$$CN(III) = \frac{23xCN(II)}{10 + (0,13xCN(II))} \quad (9)$$

Onde CN(I), CN(II) e CN(III) são as condições de umidade nas três condições supracitadas. Dessa forma, é necessário definir a condição e a umidade da bacia analisada e, com auxílio das equações acima, alterar o valor de CN para a situação definida. Por fim, é calculado o valor do escoamento superficial em função do CN encontrado.

Em situações em que não se encontram as mesmas condições de uso e de ocupação do solo, de umidade e de tipo hidrológico de solo, é necessário fazer uma média ponderada dos valores de CN em função das áreas delimitadas com a mesma característica.

Quadro 03: Descrição de CN para diferentes solos e coberturas de uso e ocupação

Tipos de Solo	Condições de Superfície	Área Impermeável (%)	Grupo hidrológico			
			A	B	C	D
Estacionamentos e superfícies pavimentadas	Áreas impermeáveis: estacionamentos pavimentados, telhados, caminhos e passagens (excetuando-se passeios)	100	98	98	98	98
Comercial	Bairros urbanos de comércio e negócios	85	80	92	94	95
Industrial	Bairros industriais	72	81	88	91	93
Residencial	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 500m <sup>2</sup> ou menos (densidade elevada)	65	77	85	90	92
	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 1000m <sup>2</sup>	38	61	75	83	87
	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 1350m <sup>2</sup>	30	57	72	81	86
	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 2000m <sup>2</sup> (densidade baixa)	25	54	70	80	85
	Bairros residenciais com lotes de tamanho médio: 8000m <sup>2</sup>	12	46	65	77	82
Florestas	Madeira - Boa condição		30	55	70	77
Gramados, Pastagens	Pastagem, gramados ou campos - Boa Condição		39	61	74	80
Espaços Abertos	Espaços abertos (gramados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc.). Condição satisfatória (cobertura de grama de 50% a 70%).		49	69	79	84
Agricultura	Cultivos em fileira - Linhas retas com resíduos de cobertura de vegetação do cultivo.		64	75	82	85

Fonte: Canholi, 2014

#### 4.8 DIMENSIONAMENTO DA REDE DE DRENAGEM

O projeto de drenagem será desenvolvido com os dados obtidos dos Estudos

Hidrológicos, compreendendo o dimensionamento, a verificação hidráulica e também os parâmetros geométricos das ruas. De modo geral, o objetivo dos dispositivos de drenagem é captar e conduzir, para local adequado, toda a água que, sob qualquer forma, venha a atingir o corpo estradal. Os dispositivos comumente utilizados em projetos de drenagem urbana são:

- Dispositivos Coletores: Caixas Ralo;
- Meio Fio – Sarjeta;
- Bueiros Tubulares; • Caixas de Passagem;

- Poços de Visita.

#### 4.8.1 Caixas Ralo

A localização das caixas ralo ou bocas-de-lobo respeitará o critério de eficiência na condução das vazões superficiais para as galerias. Locaremos as bocas-de-lobo nos pontos mais baixos do sistema, com vistas a impedir alagamentos e águas paradas em zonas mortas.

#### 4.8.2 Sarjeta

Estabelecida a geometria para a sarjeta, que é função das disponibilidades de largura da plataforma, seu dimensionamento consiste no estabelecimento de seu comprimento crítico para todas as situações peculiares de planta e perfil. Assim sendo, o comprimento crítico será atingido quando estiver para ocorrer o transbordamento das sarjetas. Utilizaremos o método racional com a equação (10) da continuidade.

$$Q = \frac{1}{n} A R I^{1/2} \quad (10)$$

$Q$  = vazão máxima admissível (m<sup>3</sup>/s);  $I$  = Declividade da sarjeta (%);  $n$  = Coeficiente de Rugosidade de Manning;  $A$  = área molhada da sarjeta (m<sup>2</sup>);  $R$  = raio hidráulico (m).

#### 4.8.3 Bueiros Tubulares

O dimensionamento é fundamentado nas vazões obtidas no âmbito dos estudos hidrológicos, considerando-se o período de recorrência e tempo de concentração estipulados.

No dimensionamento, será utilizada a fórmula de Manning (11) e (12).

$$Q = 1,55 \frac{Qn^{1/2}}{I^2} \quad (11)$$

$D$  = Diâmetro [m];

$Q$  = Vazão [m<sup>3</sup>/s];  $I$  = Declividade [%];  $n$  =

Coefficiente de Rugosidade de Manning.

$$V = \frac{[0,397D^{2/3}I^{1/2}]}{n} \quad (12)$$

$V$  = Velocidade média [m/s];

$D$  = Diâmetro [m];  $I$  = Declividade [%];  $n$  =

Coefficiente de Rugosidade de Manning.

#### 4.8.4 Poços de Visita

Haverá poços de visita nos pontos onde há mudança de direção, de declividade e de diâmetro e nos cruzamentos de vias públicas.

### 4.9 FERRAMENTAS E FUNCIONALIDADES UTILIZADAS

Neste tópico serão abordadas as ferramentas e suas principais funcionalidades utilizadas para a modelagem em BIM do projeto.

#### 4.9.1 Infraworks

O Infraworks é uma ferramenta disponibilizada pela Autodesk que suporta processos BIM, possibilitando a engenheiros e designers obter um melhor planejamento e uma melhor concepção de projetos de infraestrutura. O software conta com funcionalidades de integração entre BIM e GIS, em que serão alimentados vários dados presentes na área de estudo, como, por exemplo, localização, características geométricas e topografia. Como os dados inseridos consistem em elementos geométricos em três dimensões, essa integração permitirá uma melhor

compreensão dos resultados e das áreas que serão afetadas com os projetos (BRANDÃO, 2014).

O Infracore também auxilia na produção de projetos conceituais e em estudos de viabilidade. Sua finalidade não é a elaboração de projetos executivos, embora apresente resultados bastante satisfatórios.

Recentemente, a fabricante do software lançou um novo recurso para a ferramenta chamado Autodesk ReCap, com o qual o usuário pode inserir arquivos de nuvens de pontos no modelo. Esta nova funcionalidade vem sendo muito utilizada por empresas para estudos de impacto de projetos em áreas preexistentes.

Os modelos do software Autodesk Revit também se integram diretamente com o Infracore. Este software é uma ferramenta de modelagem de edificações e estruturas em BIM, podendo ser utilizado para modelagem e documentação de estruturas mais complexas, como pontes e túneis. Outro software que possui integração com o Infracore, um dos mais importantes entre os vários e também disponibilizado pela Autodesk, é o AutoCad Civil 3D, que utilizaremos neste estudo, pois possibilita a importação de um projeto de estudo de viabilidade criado no Infracore para a confecção do detalhamento e documentação do projeto em questão.

Para a obtenção dos dados do terreno da área de estudo, será utilizado o gerador de modelo do Infracore, uma funcionalidade conectada com a base de dados do Bing Maps, que seleciona uma área de estudo.

#### 4.10 ANÁLISE DE CUSTO

Nesta análise será realizado o dimensionamento de cada uma das alternativas propostas para o levantamento de quantitativo e o orçamento dos itens relevantes. Pretende-se realizar o levantamento de custos de estruturas com pavimento permeável e pavimento convencional para o projeto em questão. Serão utilizados valores unitários

e composições de custos diretos e custos indiretos fornecidos no site do Instituto de Obras Públicas do Estado do Espírito Santo (IOPES).

## **5 AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS**

Dentro das limitações já mencionadas do escopo, será possível produzir um projeto conceitual de uma macrodrenagem utilizando pavimentos permeáveis de forma rápida e precisa para um loteamento padronizado e comparar os resultados para pavimentos permeáveis e não permeáveis. Obteremos quantitativos de maneira eficiente e com pouco esforço. As principais funcionalidades da aplicação da metodologia BIM serão validadas com sucesso com o uso das ferramentas escolhidas.

A facilidade de alteração de propostas de projeto permitirá a realização de diversos modelos e a análise de diferentes traçados, materiais e dados hidrológicos.

A elaboração de um modelo 3D integrado com um ambiente real proporcionado pela interação entre GIS e BIM permitirá a validação de uma melhor visualização do projeto para decisões em fases conceituais, pois proporciona a análise de impactos e interferências em seu entorno e também os custos e benefícios dos tipos de drenagem. Além disso, a possibilidade de exportação desse modelo conceitual para uma ferramenta de elaboração de projetos executivos se mostrará extremamente produtiva, pois reduzirá o retrabalho e a perda de dados já modelados.

A verificação de regras com relação à geometria do pavimento será realizada automaticamente, diminuindo a necessidade de o projetista aplicar rotinas de cálculo para cada trecho.

A modelagem paramétrica facilita a retirada de quantitativos de modo dinâmico, uma vez que possibilitará a quantificação dos elementos que, por sua vez, estão associados a parâmetros geométricos. Esse fato

possibilitará a extração instantânea de dados, independentemente da quantidade de alterações de propostas.

## 6 CRONOGRAMA

ETAPAS	2020		2021										2022							
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Revisão bibliográfica																				
Qualificação																				
Revisão do projeto após qualificação																				
Obejetivo 1																				
Obejetivo 2																				
Obejetivo 3																				
Obejetivo 4																				
Redação da dissertação																				
Defesa da dissertação																				

## 7 VIABILIDADE TÉCNICA E FINANCEIRA

O projeto de pesquisa utiliza recursos próprios do aluno para material bibliográfico e equipamentos de informática, além de contar com as referências bibliográficas disponibilizadas pela UFES.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACIOLI, Laura Albuquerque. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. Porto Alegre, 2002. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/5843>>. Acesso em: 28 maio. 2021, 10:49:45.

ALEGRIA, Manuela. **Pavimento permeável: solução sustentável para a redução de enchentes**. Revista Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.revistameioambiente.com.br/pavimento-permeavel-solucao-sustentavel-para-a-reducao-de-enchentes/>>. Acesso em: 28 maio. 2021, as 10:52:10.

ALESSI, Fernando; KOKOT, Pedro Júnior; GOMES, Júlio. **Comparação do escoamento superficial gerado por pavimentos permeáveis em blocos de concreto e asfalto poroso**. Da Vinci, Curitiba, v.3, n.1, p. 139-156, 2006.

ARAÚJO, Paulo R.; TUCCI, Carlos E. M.; GOLDENFUM, Joel A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 5 n.3 Jul/Set 2000, 21-29. Porto Alegre, 1999.

ABNT.NBR 16416:2015– **Pavimentos permeáveis de concreto** – Requisitos e procedimentos. 2015.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. Técnicas compensatórias em drenagem urbana. Porto Alegre: **ABRH**, 2005. 266p.

BRANDÃO, R. A. **Avaliação do Uso BIM para o Estudo de Obras de Infraestrutura Viária.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

CAPUTO, Homero Pinto. Mecânica dos solos e suas aplicações.vol.1, 6 ed. Rio de Janeiro:LTC, 2011.

CASTRO, Jary *et al.* **Guia prático para a construção de calçadas.**2ª edição. Mato Grosso do sul. 2010.

CANHOLI, A. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** 2a ed. São Paulo. Oficina de Textos, 2014.

CHEN, L. M. *et al.* Measurement of permeability and comparison of pavements. **Water**

CHUA, L; FWA, T.F. Evaluation of surface infiltration performance of permeable pavements. **Journal of Environmental Management** v. 238, p. 136-143, 2019.]

COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia. **Introduzindo hidrologia.** Porto Alegre, 2008. Disponível em:< <http://pt.scribd.com/doc/43435101/Apostila-Hidrologia>>. Acesso em: 28 maio. 2021, as 10:54:36.



COSTIN, A. M.; TEIZER, J.; SCHONER, B. RFID and BIM-enabled worker location tracking to support real-time building protocol and data visualization. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 20, p. 495-517, 2015.

**Curso de gestão das inundações urbanas.** Porto Alegre, 2005.

Disponível em:

<[http://galileu.iph.ufrgs.br/aguasurbanas/Contents/Publicacoes/Downloads/CE\\_Tucci/GE\\_STAO\\_INUNDACOES.pdf](http://galileu.iph.ufrgs.br/aguasurbanas/Contents/Publicacoes/Downloads/CE_Tucci/GE_STAO_INUNDACOES.pdf)>. Acesso em: 28 maio. 2021, 11:33:15.

DNIT, D. N. DE I. DE T. **Manual de estudos de tráfego. Instituto de Pesquisas Rodoviárias -IPR**, p. 384, 2006b.

DNIT. **Album de Projetos-tipo de dispositivos de drenagem IPR-736**, 2010.

DNIT. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem.** p. 133, 2005.

DNIT. **Manual De Pavimentação.** [s.l: s.n.]. 2018.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. LISTON, K. BIM. **Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.** 2ª ed. Hoboken: Wiley, 2011.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K; AYRES FILHO, C. G.; CÉSAR JÚNIOR, K. M. L.; FERREIRA, R. C.; FERREIRA, S. L.; SANTOS, E. T. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores.** Porto Alegre: Bookman, 2014.

GARCEZ, Lucas. Nogueira; ALVAREZ, Guillermo Acosta. **Hidrologia.** 2ª edição, São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1988.

GRIBBIN, J. E. **Introdução a Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. 4. ed. [s.l: s.n.]. 2018.

HOLTZ, Antonio Carlos Tatit. Precipitação. In: Pinto Nelson de Sousa. **Hidrologia básica**. São Paulo:Editora Blucher, 1976. p.7-35.

HOU, Jingming, *et al.* **Experimental study for effects of terrain features and rainfall intensity on infiltration rate of modelled permeable pavement**. Journal of Environmental Management. v. 243, p. 2-10; 2019.

JOHNSON, DANIEL.; GEISENDORF, SYLVIE. Are Neighborhood-level SUDS Worth it? An Assessment of the Economic Value of Sustainable Urban Drainage System Scenarios Using Cost-Benefit Analyses, **Ecological Economics**, v. 158, p 194-205, 2019.

KAMALI, Meysam *et al.* **Evaluation of permeable pavement responses to urban surface runoff**. Journal of Environmental Management. v.187, p.43-53; 2017.

Lei Municipal N° 2.100/1996 –Plano Diretor Urbano (PDU);

LI, Qian *et al.* **Comprehensive performance evaluation of LID practices for the sponge city construction: A case study in Guangxi, China**. Journal of Environmental Management. v.231, p.10-20; 2019.

LIANG, Changnei *et al.* **An integrated framework to select resilient and sustainable sponge city design schemes for robust decision making**. Ecological Indicators, v.119, p. 1-11, 2020.

LIU, Y.; LI, T.; PENG, H. A new structure of permeable pavement for mitigating urban heat island. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 1119–1125, 1 set. 2018.

LIU, Y.*et al.* **management considering multiple criteria and uncertainty**. Journal of Cleaner Production. v. 293, p. 402-416; 2021.

MAUS, Víctor Wegner; RIGHES, Afranio Almir; BURIOL, Galileo Adeli.

**Pavimentos permeáveis e escoamento superficial da água em áreas urbanas.** I Simpósio de recursos hídricos do norte e centro-oeste, Santa Maria, 2005.

Manual de orientação à aprovação de parcelamento do solo para fins urbanos / Secretaria de Estado de Economia e Planejamento...[*et al.*]. – Vitória, ES, 2006. 97p.

MCGRAW HILL CONSTRUCTION. **The Business Value of BIM for Infrastructure: Addressing America's Infrastructure Challenges with Collaboration and Technology.** Bedford, 2012

MOURA, Thales Augustus Moreira. **Estudo experimental de superfícies permeáveis para o controle do escoamento superficial em ambientes urbanos.** Brasília, 2005. Disponível [1\(unb.br\)](http://1(unb.br)). Acesso em: 25 abr. 2021, 16:44:45.

PARKINSON, Jonathan *et al.* **Drenagem urbana sustentável no Brasil. Relatório do workshop em Goiânia-GO,** 2003. Disponível em [www.semarh.se.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/drenagem\\_urbana\\_no\\_brasil-workshop\\_relatorio081003.pdf](http://www.semarh.se.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/drenagem_urbana_no_brasil-workshop_relatorio081003.pdf). Acesso em 28 maio. 2021, as 11:05:20.

PINTO, Nelson de Sousa *et al.* **Hidrologia básica.** São Paulo: Editora Blucher, 1976. p.7-35.

POMPÊO, Augusto Cesar. **Drenagem urbana sustentável,** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n.1, p.15-23, Jan./Mar. 2000.

PSAT, & W. Development Technical Guidance Manual for Puget Sound. Washington: **Sound, Puget Team Washington, State University Pierce County Extension,** 2005

RAHMAN, M. A. *et al.* Recycled construction and demolition materials in permeable pavementsystems: Geotechnical and hydraulic characteristics. **Journal of Cleaner Production**, v. 90, p.183–194, 2015.

RAZZAGHMANESH, M.; BEECHAM, S. **A review of permeable pavement clogging**

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. **Enchentes e deslizamentos: causas e soluções: áreas de risco no Brasil**. 1ª edição. São Paulo: PINI, 2012.

SANTOS, G. G. *et al.* **Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica**. 2010

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. **Drenagem urbana: aspectos de gestão**. 1ª edição. Porto Alegre, 2002. 57

SINOBAS, Rodríguez Leonor *et al.* **Techniques and criteria for sustainable urban stormwater management. The case study of Valdebebas (Madrid, Spain)**. *Journal of Cleaner Production*. v. 172, p. 402-416; 2019.

SOUZA, Manoel Dornelas. **Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais**. São

Paulo, 2004. Disponível em:<

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/14520/1/documentos37.pdf>>. Acesso em: 28 maio. 2021, as 11:12:39.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. **Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial**. Porto Alegre, 2002. Disponível em: <

<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3006>>. Acesso em: 27 maio. 2021, as 11:35:13.

STRECK, Edmar Valdir *et al.* **Solos do Rio Grande do Sul**. 2ª edição. Porto Alegre: Emater/RS, 2008.

SUZUKI, C. Y.; AZEVEDO, A. M.; KABBACH JÚNIOR, F. I. **Drenagem subsuperficial de pavimentos conceitos e dimensionamento**. [s.l.: s.n.].

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. ABRH, p. 15–29, 2007.

TUCCI, C. E. M.; MELLER, A. **Regulação das águas pluviais urbanas**. Revista de Gestão de Água da América Latina – REGA, 2007.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**.

Brasília: [s.n.]. v. 53. 2012.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, L. T. **Drenagem Urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 1995.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Água no meio urbano**. Porto Alegre, 1997. Disponível em: < [< http:// DOCE0.PDF \(mpf.mp.br\)>](http://DOCE0.PDF (mpf.mp.br)) >. Acesso em: 28 maio. 2021, 14:10:14.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Águas Urbanas**. Porto Alegre, 2008. Disponível em: [< Carlos Tucci.indd \(scielo.br\)>](Carlos Tucci.indd (scielo.br)). Acesso em: 28 maio. 2021, 14:10:14.

TURCO, M. *et al.* Unsaturated hydraulic behaviour of a permeable pavement: Laboratory investigation and numerical analysis by using the HYDRUS-2D model. **Journal of Hydrology**, v. 554, p. 780–791, 1 nov. 2017.

TERHELL, S.-L. *et al.* **Cost and Benefit Analysis of Permeable Pavements in Water Sustainability**. 2015

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E.G. **Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 4, p. 655–662, 2016.

VIGNALI, VALERIA. *et al.* Building information Modelling (BIM) application for an existing road infrastructure. **Automation in Construction**, v.128, 2021.

VETTORI, L. **Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo**, 1969. 24p.

VIRGILLIS, Afonso Luis Corrêa de. **Procedimentos de projeto de execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias.** São Paulo, 2009. Disponível em:< [http:// Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento... \(usp.br\) >](http://Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento... (usp.br) >). Acesso em: 28 maio. 2021, as 15:01:15.

WU, L. *et al.* Toxicity of urban highway runoff in Shanghai to Zebrafish (*Danio rerio*) embryos and luminous bacteria (*Vibrio qinghaiensis*.Q67). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 21, n. 4, p. 2663–2676, 2014.

XU, C. *et al.* Benefits of coupled green and grey infrastructure systems: Evidence based on analytic hierarchy process and life cycle costing. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 151, 2019.

ZHANG, S.; GUO, Y. Analytical Equation for Estimating the Stormwater Capture Efficiency of Permeable Pavement Systems. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 141, n. 4, p. 06014004, 2015. ZHU, Yuxin *et al.* Permeable pavement design framework for urban stormwater, **Journal of Cleaner Production**, v. 293, 2021.

---

---

[← Post anterior](#)

[Post seguinte →](#)

---

## RevistaFT

A **RevistaFT** têm 28 anos. É uma **Revista Científica Eletrônica Multidisciplinar Indexada de Alto Impacto e Qualis “B2” em 2023**. Periodicidade mensal e de acesso livre. Leia gratuitamente todos os artigos e publique o seu também [clikando aqui](#).



## Contato

**Queremos te ouvir.**

**WhatsApp RJ:**

(21) 98159-7352

**WhatsApp SP:**

(11) 98597-3405

**e-Mail:**

contato@revistaf  
t.com.br

**ISSN:** 1678-0817

**CNPJ:**

48.728.404/0001-  
22

**CAPES –**

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), fundação do Ministério da Educação (MEC), desempenha papel fundamental na

## Conselho Editorial

**Editores**

**Fundadores:**

Dr. Oston de Lacerda Mendes.  
Dr. João Marcelo Gigliotti.

**Editor**

**Científico:**

Dr. Oston de Lacerda Mendes

**Orientadoras:**

Dra. Hevellyn Andrade Monteiro  
Dra. Chimene Kuhn Nobre

**Revisores:**

Lista atualizada periodicamente em [revistaft.com.br/expresspediente](http://revistaft.com.br/expresspediente). Venha fazer parte de

expansão e  
consolidação da  
pós-graduação  
stricto sensu  
(mestrado e  
doutorado) em  
todos os estados  
da Federação.

nosso time de  
revisores  
também!

Copyright © Editora Oston Ltda. 1996  
- 2023

Rua José Linhares, 134 - Leblon | Rio  
de Janeiro-RJ | Brasil