



COMPARATIVO DE CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTO CONVENCIONAL E PAVIMENTO PERMEÁVEL

ARTIGO ORIGINAL

MELLO, Fernanda Barbosa Gomes¹, RIGO, Daniel²

MELLO, Fernanda Barbosa Gomes. RIGO, Daniel. **Comparativo de custos de implantação de pavimento convencional e pavimento permeável.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano. 08, Ed. 04, Vol. 04, pp. 05-25. Abril de 2023. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/pavimento-convencional>

RESUMO

Pavimentos permeáveis (PP) são sistemas que buscam minimizar o impacto gerado pela pavimentação, facilitando a infiltração de águas pluviais e reduzindo o escoamento superficial. Pode-se, ainda, acrescentar outras vantagens ao uso de PP, tais como: remoção de poluentes da água infiltrada, aumento da segurança da via, entre outros. Apesar das vantagens, o PP é uma solução pouco usada no Brasil. Sabe-se que o custo de implantação é um dos fatores que influenciam na escolha do tipo de pavimento, sendo assim, o presente estudo propôs comparar os custos de implantação de PP com bloco de concreto poroso (PPBCP) aos custos de implantação do pavimento convencional com bloco de concreto (PCBC). Projetou-se um loteamento residencial que foi utilizado como base para o dimensionamento dos dois tipos de pavimento, seguindo diretrizes da norma ABNT NBR 16.416/2015. Verificou-se que a implantação do PPBCP pode ser até 35,82% mais cara que a implantação do PCBC, mas pode ser até 2,4% mais barata, no caso de infiltração total. Atribui-se, essa diferença, ao incremento gerado pelo preço do bloco de concreto poroso, pela espessura da camada de base e sub-base e pelos dispositivos auxiliares como drenos e mantas. Conclui-se que o custo de implantação do PPBCP, na maioria das hipóteses estudadas, é maior que o custo de implantação do PCBC, contudo, ressalta-se a importância de se considerar as vantagens dos PPs, com destaque para sua atuação na redução do impacto da urbanização no ciclo hidrológico urbano, o que representa economia nas instalações de drenagem a jusante.

Palavras-chave: Pavimentos permeáveis, Técnicas compensatórias, Drenagem sustentável, Concreto poroso, Custo de implantação.



1. INTRODUÇÃO

A ocupação desordenada, aliada a falta de planejamento na construção das cidades acarretou um cenário insustentável, onde a interação entre o homem e o ambiente precisa ser repensada. No que tange à gestão das águas pluviais, novos conceitos e processos têm surgido no intuito de minimizar os impactos provocados pela urbanização, além de propiciar maior conforto e interação com a paisagem natural. Nesse contexto, aparecem os SuDS - *Sustainable Drainage Systems*.

Os SuDS são sistemas de drenagem sustentável baseados em uma estrutura científica holística de sustentabilidade, onde todos os custos ambientais, conjuntamente aos fatores econômicos e sociais, devem ser considerados nos processos de tomada de decisões (WOODS-BALLARD *et al.*, 2007).

Dentro da possibilidade de implantar um sistema sustentável, o uso de pavimentos permeáveis (PP) tem se apresentado como uma alternativa viável em várias localidades. De acordo com Virgiliis (2009), pavimento permeável é aquele que possui porosidade e permeabilidade consideravelmente elevada, de maneira a influenciar a hidrologia, causando um efeito positivo ao meio ambiente. Segundo Marchioni e Becciu (2015), os resultados de pesquisas e estudos de caso relatados na literatura confirmam a viabilidade e os benefícios do uso de pavimentos permeáveis em áreas urbanas, além disso essa solução já é bem conhecida, comercialmente disponível e referida em muitas legislações municipais.

Os PP, quando usados em substituição ao pavimento comum (considerando o concreto asfáltico e o bloco de concreto, dos quais são os tipos mais usados no Brasil), permitem a diminuição do volume de água de chuva escoado, melhoram a qualidade da água infiltrada e reduzem o aumento de temperatura provocado pelo efeito “ilha urbana de calor” (XIE; AKIN; SHI, 2019; SARTIPI; SARTIPI, 2019). De acordo com Saadeh *et al.* (2019), a estrutura do pavimento permeável serve como um reservatório para armazenar água e minimizar os impactos negativos das águas pluviais. Esses pavimentos ajudam a equilibrar o processo do ciclo hidrológico, podem eliminar a



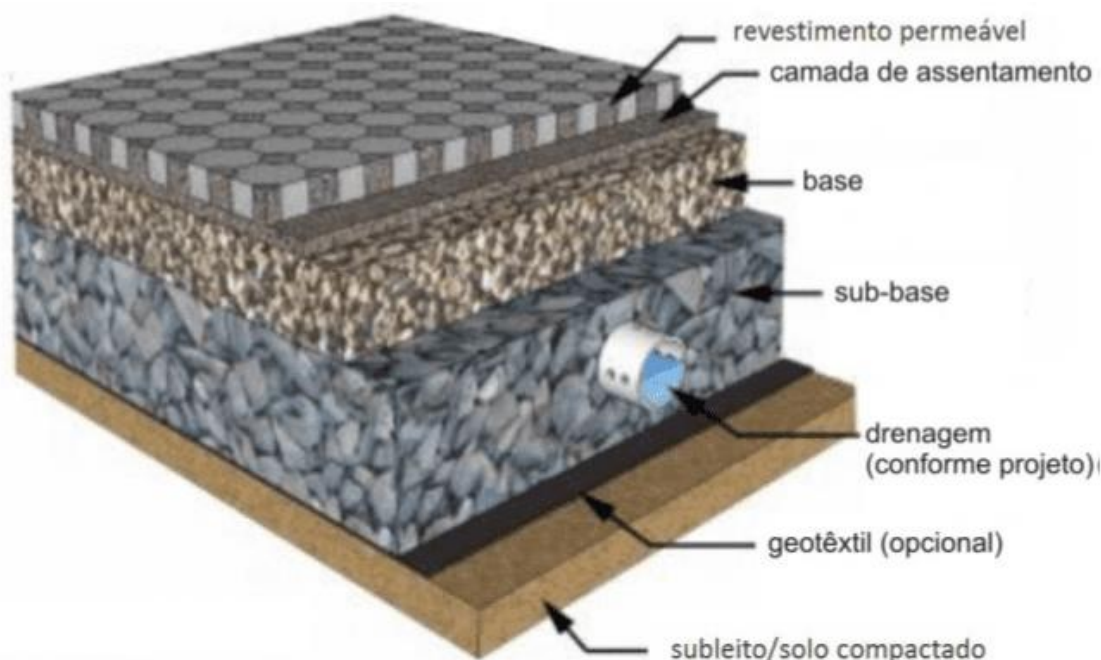
necessidade de tubos de drenagem e aumentam a resistência à derrapagem entre o pneu do veículo e a superfície do pavimento.

Um estudo realizado por Silva (2021), mostrou que a implantação de PP reduziu significativamente a vazão de pico e o volume de escoamento, além de ter retardado o tempo da vazão de pico, concluindo que a implantação de PP contribuiu para que o impacto da urbanização no ciclo hidrológico urbano seja minimizado.

Os pavimentos permeáveis são aplicados em áreas com baixas cargas de veículos e/ou volumes de tráfego, como: calçadas, estacionamentos e ruas residenciais. No entanto, com avanços na tecnologia e regulamentos ambientais mais rigorosos, prevê-se que esse tipo de pavimento também será usado em estradas e rodovias urbanas (KAYHANIAN *et al.*, 2019).

A seção típica de um pavimento permeável é constituída, basicamente, dos mesmos componentes do pavimento convencional, sendo composta por: subleito; sub-base; base e revestimento. Além dos componentes básicos, também, podem ser usados dispositivos auxiliares, como: manta de geotêxtil, tubos de drenagem e cama de assentamento. Entretanto, poucos pavimentos possuem todos os componentes descritos, uma vez que cada um deve ter uma combinação específica que atenda às suas próprias necessidades (VIRGILIIS, 2009). A Figura 1 apresenta a seção típica de um pavimento permeável.

Figura 1. Principais camadas do sistema de pavimentos permeáveis.



Fonte: Motta (2019).

No Brasil, mesmo diante do apelo ambiental, os projetos de pavimentação, em grande parte, não consideram em sua análise a possível aplicação de pavimento permeável. Apesar dessa alternativa ser amplamente estudada, ser normatizada através da ABNT NBR 16.416/2015 (ABNT, 2015) e regulada por leis municipais, a falta de dados para estimativa dos custos, muitas vezes aparece como entrave para a aplicação de uma análise mais ampla.

1.1 NORMA ABNT NBR 16.416/2015: PAVIMENTOS PERMEÁVEIS DE CONCRETO - REQUISITOS E PROCEDIMENTOS

A norma ABNT NBR 16.416/2015, estabelece os requisitos mínimos exigíveis ao projeto, especificação, execução e manutenção de PP de concreto, construídos com revestimento de peças de concreto intertravadas, placas de concreto ou pavimentos de concreto moldado no local (ABNT, 2015).



De acordo com a norma, o PP pode ser concebido de três diferentes maneiras com relação à infiltração, podendo ser de: infiltração total (quando toda água precipitada alcança o subleito e se infiltra); infiltração parcial (quando parte da água precipitada alcança o subleito e infiltra, e outra parte fica retida na estrutura sendo removida por dreno); ou sem infiltração (quando a água precipitada não infiltra no subleito, ficando temporariamente armazenada e, posteriormente, removida por dreno).

A definição do tipo de infiltração do PP deve ser de acordo com as características locais, levando em conta: a permeabilidade do subleito, o nível do lençol freático e a presença de contaminantes no subleito.

De acordo com a norma ABNT NBR 16.416/2015 (ABNT, 2015), o pavimento permeável deve atender, simultaneamente, às solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento, além de permitir a percolação e/ou acúmulo temporário de água em sua estrutura, sendo assim, é necessário dimensionar o PP de duas formas: pelo método hidráulico-hidrológico e pelo método mecânico, adotando o maior valor entre os dois, sendo o dimensionamento hidráulico-hidrológico da base granular definido utilizando a Equação I.

$$H_b = \frac{(\Delta Q_c \cdot R + P - fTe)}{V_r} \text{ (Equação I)}$$

Onde:

H_b = altura da base e sub-base

ΔQ_c = precipitação excedente da área de contribuição para uma chuva de projeto (m);

R = relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável ($A_c \cdot A_p^{-1}$);

A_c = área de contribuição (m²);

A_p = área de pavimento permeável (m²);

P = precipitação de projeto (m);

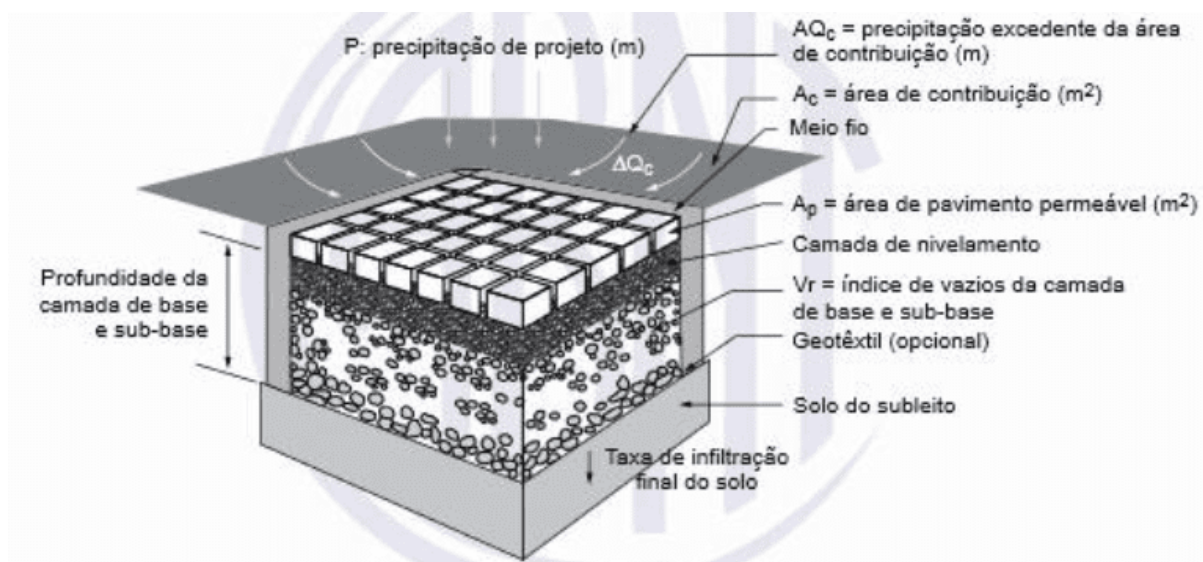
f = taxa de infiltração no solo ($m \cdot h^{-1}$);

T_e = tempo efetivo de enchimento da camada reservatório;

V_r = índice de vazios do material de base/reservatório.

A Figura 2 ilustra os parâmetros de dimensionamento hidrológico-hidráulico.

Figura 2. Ilustração dos parâmetros de dimensionamento hidrológico-hidráulico.



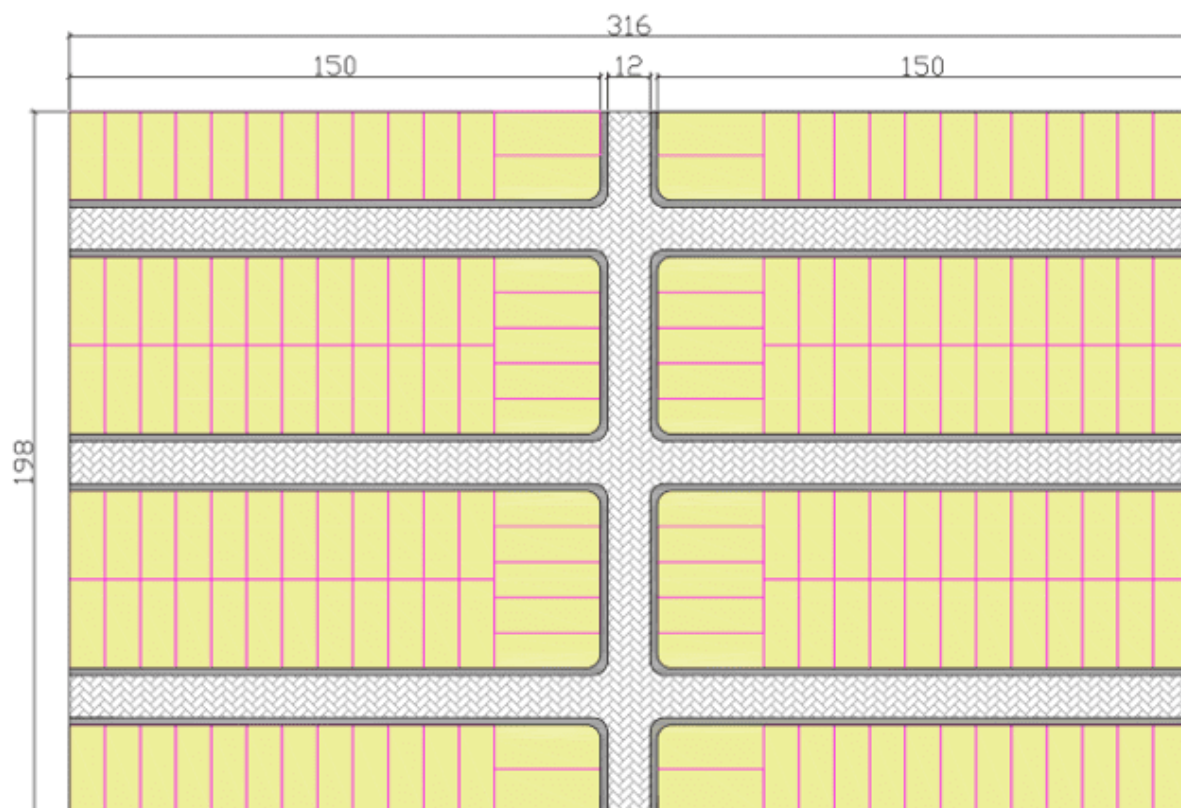
Fonte: ABNT (2015).

2. METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DO PAVIMENTO

Considerou-se a implantação de um pavimento nas vias de um loteamento residencial com residências unifamiliares, conforme *layout* apresentado na Figura 3.

Figura 3. Layout da área de estudo.



Fonte: Própria.

A declividade adotada para as ruas do loteamento, foi de 1%, atendendo à norma ABNT NBR 16.416/2015, que recomenda uma declividade do pavimento de no mínimo 1% e no máximo de 5% (ABNT, 2015).

Para o *layout* apresentado na Figura 3, foram consideradas as seguintes características:

- Lotes com área de 250 m², sendo 10,00 m de frente por 25,00 m de fundo;
- Vias de tráfego local com largura de 12,00 m;
- Calçadas com largura de 2,00 m;
- Área total do loteamento de 62.568,00 m² (316,00 m x 198,0 m), sendo a área de contribuição de 49.206,80 m² e área pavimentada de 13.361,20 m².



A norma ABNT NBR 16.416/2015 limita a área de contribuição em cinco vezes a área do pavimento (ABNT, 2015). A verificação do atendimento à Norma é dada pelo cálculo da relação R, sendo:

$$R = \frac{\text{Área de contribuição}}{\text{Área pavimentada}} / = \frac{49.206,80}{13.361,20} = 3,68\text{m}^2, \text{ logo: } < 5.$$

2.2 TIPOS DE PAVIMENTO

Foram considerados dois tipos de pavimento: o PPBCP e o PCBC. Para ambos os casos, foi considerado o material de base e sub-base de GSB (Bruta Graduada Simples) com índice de vazios de 32% e porosidade efetiva de 24%.

2.3 DIMENSIONAMENTO MECÂNICO DOS PAVIMENTOS

De acordo com São Paulo (2005), o dimensionamento mecânico de pavimentos com blocos pré-moldados pode ser realizado utilizando o Método da PCA – 84 (*Portland Cement Association*), no qual, a espessura de camada da base e sub-base é definida em função do tráfego através do número de solicitações “N” e do Índice de Suporte Califórnia (ISC) do subleito. Utilizou-se o referido método adotando $N = 10^5$.

2.4 DIMENSIONAMENTO DA DRENAGEM

Considerou-se, nesse estudo, que o escoamento superficial gerado no PPBCP será nulo, sendo assim, não foram considerados dispositivos de drenagem superficial para o PPBCP. A drenagem subsuperficial do PPBCP, quando necessária, será realizada através de drenos.

Para o dimensionamento dos dispositivos de drenagem, no caso da pavimentação convencional com bloco de concreto, utilizou-se o método racional (ASCE, 1969), sendo adotado o coeficiente de escoamento “C” de 0,5, considerando que se trata de área residencial com habitações unifamiliares.



A intensidade da chuva foi determinada a partir da expressão de autoria do professor Robson Sarmento para a cidade de Vitória/ES (SARMENTO, 1985), que é a seguinte:

$$i = \frac{973,47 \times T^{0,19}}{(t+20)^{0,77}} \text{ (Equação II)}$$

Onde:

i = Intensidade da chuva (mm.h⁻¹);

T = Período de Recorrência, adotado igual a 10 anos;

t = Chuva com duração igual ao tempo de concentração, adotado 10 minutos.

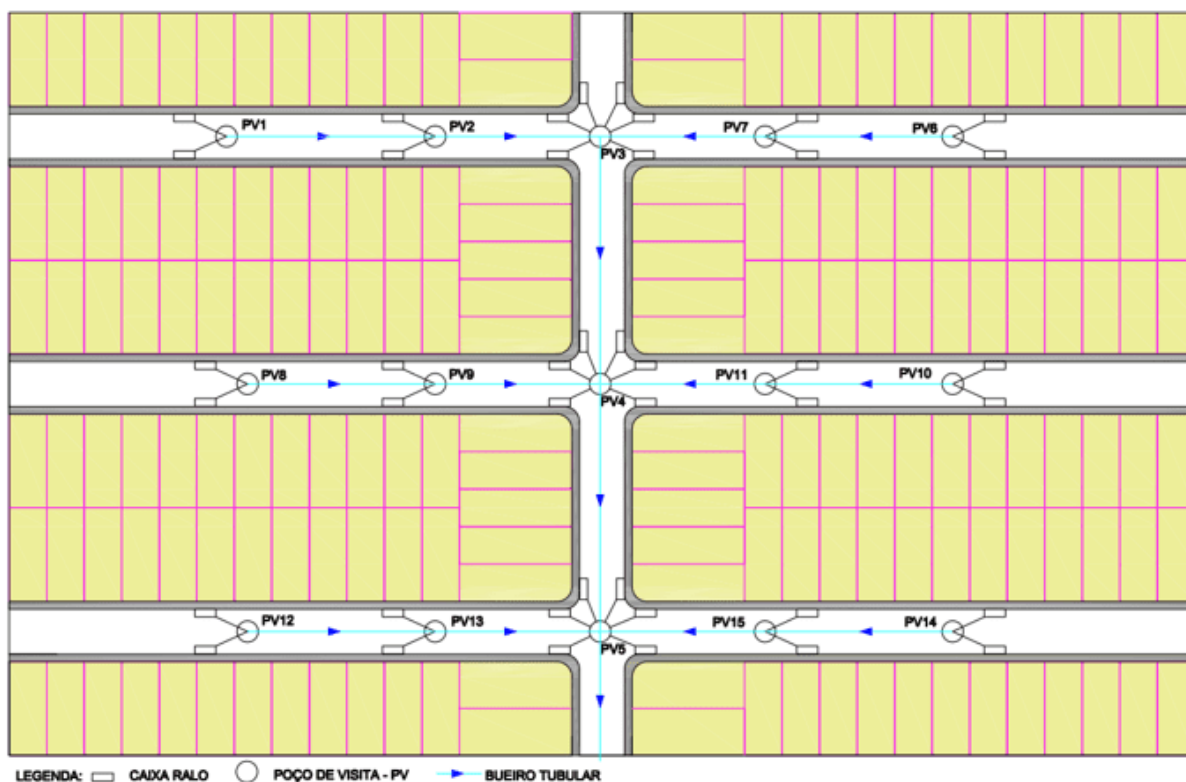
Baseado em Toledo (2017), para o PCBC, foram dimensionados os dispositivos comumente utilizados em projetos de drenagem urbana.

Dispositivos:

- Coletores: 42 Caixas Ralos;
- Meio Fio 2.258,4 m de Sarjeta;
- 637,0 m de Bueiros Tubulares com diâmetro de 400 mm e 99,0 m, com diâmetro de 600 mm;
- 15 Poços de Visitas.

A Figura 4 apresenta a localização dos dispositivos de drenagem, considerando o *layout* do loteamento estudado.

Figura 4. Dispositivos da drenagem convencional.



Fonte: Própria.

2.5 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO (PPBCP)

No dimensionamento hidráulico-hidrológico considerou-se a Equação I, definida pela norma ABNT NBR 16.416/2015 (ABT, 2015).

Adotou-se o tempo efetivo de enchimento da camada reservatório “Te” de 2h, período de recorrência de 10 anos e duração da chuva de 1 hora conforme recomenda a ABNT NBR 16.416/2015 (ABT, 2015). Dessa forma temos: $i = 51,63 \text{ mm.h}^{-1}$; e o total precipitado em 1h será 51,63 mm.



A altura máxima do pavimento permeável ($H_{m\acute{a}x}$) é dada por:

$$H_{m\acute{a}x} = \frac{f_x \cdot t_s}{V_r} \quad (\text{Equação III})$$

Onde:

t_s = tempo máximo de armazenamento de água;

f = taxa de infiltração no solo ($m \cdot h^{-1}$);

V_r = índice de vazios do material de base/reservatório.

Para a dimensionamento das estruturas do PPBCP, com relação ao tipo de infiltração, considerou-se, no presente estudo, três hipóteses, descritas a seguir.

2.5.1 HIPÓTESE 1 – PPBCP INFILTRAÇÃO TOTAL

Para que o pavimento permeável seja do tipo infiltração total a altura da sub-base e base “ H_b ” deve ser menor que a altura máxima “ H_{max} ”, permitindo que a água retida no reservatório de britas do PPBCP Infiltração Total não fique acumulada por mais de 24h, logo:

$$H_b \leq H_{max}$$

Sendo:

H_b = altura da base e sub-base dada pela equação I e

$H_{m\acute{a}x}$ = altura máxima dada pela equação III.

Logo:

$$\frac{(\Delta Q_c \cdot R + P - fTe)}{V_r} \leq \frac{f_x \cdot t_s}{V_r}$$



Com isso, foi possível determinar o valor de taxa de infiltração do solo dado por:

$$f \geq (\Delta Qc \cdot R + P)/(Te + ts)$$

Dessa forma, considerando:

ΔQc = precipitação excedente da área de contribuição para uma chuva de projeto (0,0208 m);

R = relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável (3,68);

P = precipitação de projeto (0,0516 m);

Te = tempo efetivo de enchimento da camada reservatório (2h);

ts = tempo máximo de armazenamento de água (24h);

Tem-se:

$$f \geq 0,0051 \text{ m/h} = 1,40 \cdot 10^{-6} \text{ m/s.}$$

Ou seja, na hipótese 1, a taxa de infiltração do solo deverá ser maior ou igual a $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$.

2.5.2 HIPÓTESE 2 – PPBCP INFILTRAÇÃO PARCIAL

Considerou-se solos com taxas de infiltração menores que $1,4 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$, admitindo-se a necessidade de drenos para que a água não fique armazenada por mais de 24 h.

A partir da equação de Manning (Equação IV) calculou-se a vazão do dreno, obtendo os valores da Tabela 01.



$$Q = \frac{1}{n} xAxRH^{2/3} xi^{1/2} \text{ (Equação IV)}$$

Em que:

Q – vazão, m³/s

A – área molhada. m²

RH - raio hidráulico, m

i – declividade, m/m

Tabela 01. Dados do dreno.

Diâmetro (mm)	Inclinação (m.m ⁻¹)	n	y/d	Vazão (m ³ .h ⁻¹)	Velocidade (m.s ⁻¹)
100	0,5%	0,010	0,65	10,8	0,57

Fonte: Própria.

Os drenos foram dimensionados para cada rua, considerando o tempo de esvaziamento máximo de 24 h.

O tempo de esvaziamento dos drenos foi calculado pela equação a seguir:

$$T_{esv} = \frac{V_{reservatório}}{q_{dreno} + q_{inf}} \text{ (Equação V)}$$

Onde:

T_{esv} = tempo de esvaziamento do reservatório;

V_{reservatório} = Volume do reservatório;



qdreno = vazão de saída do tubo de drenagem;

qinf = vazão de infiltração no subleito.

2.5.3 HIPÓTESE 3 - PPBCP SEM INFILTRAÇÃO

Considerou-se a aplicação de uma geomembrana abaixo da sub-base e que toda a água retida será drenada por meio de drenos subsuperficiais, sendo assim, a taxa de infiltração no subleito será igual a zero. Na concepção dos drenos, considerou-se tubos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) perfurados, DN 100 mm. O tempo de esvaziamento foi calculado pela Equação V.

2.6 ORÇAMENTO

Para o levantamento dos custos foi utilizada a Tabela Referência de Preços e Composições de Custos Unitários do Departamento de Estrada de Rodagem do Espírito Santo - DER-ES, com data base de Janeiro de 2022.

As tabelas 02 a 06 apresentam a relação de serviço e preço unitário usada para o levantamento do custo de implantação do PCBC e do PPBCP.

Tabela 02. Relação de serviços e preço unitário para levantamento de custos de pavimentação e drenagem do PCBC.

1. PAVIMENTAÇÃO CONVENCIONAL COM BLOCO DE CONCRETO				
Item	Referência	Descrição do Serviço	Unidade	Preço unitário (R\$)
1.1	DER 40898	- Pavimentação com blocos de concreto (35MPa) esp.=08cm, colchão areia esp.=5cm, inclusive fornecim. do bloco e areia, exclusive transp. blocos e areia	m ²	123,20
1.2	DER 43327	- Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas	m ³	144,42
2. DRENAGEM CONVENCIONAL				
Item	Referência	Descrição do Serviço	Unidade	Preço unitário (R\$)
2.1	DER-40659	Meio fio sarjeta de concreto tipo DP-1 (0,035m ³ .m ⁻¹) inclusive caiação	m	69,46
2.2	DER-41241	Caixa ralo em blocos pré-moldados e grelha articulada em FFA em Vias Urbanas	und.	1.764,19



2.3	DER-40424	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas 0,716XP + 0,745XR	m	288,03
2.4	DER-40428	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,60 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas	m	457,83
2.5	DER-41174	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40m em Vias Urbanas	m	118,68
2.6	DER-41175	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,60m em Vias Urbanas	m	197,42
2.7	DER-41167	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40 m (0,80 x 0,8 0m), em Vias Urbanas	und.	3.495,17
2.8	DER-41168	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,60m (1,00 x 1,00m), em Vias Urbanas	und.	4041,64
2.9	DER-40327	Escoramento de cavas e valas, inclusive fornecimento e transportes das madeiras	m ²	251,14

*O valor do transporte não foi incluso. Fonte: Própria.

Tabela 03. Relação de serviços e preço unitário para levantamento de custos de pavimentação e drenagem do PPBCP – Infiltração Total.

3. PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO - INFILTRAÇÃO TOTAL				
Item	Referência	Descrição do Serviço	Unidade	Preço unitário (R\$)
3.1	Composição 01	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->0,05m, inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, exclusive transp. blocos e pedrisco	m ²	157,94
3.2	DER-43327	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas	m ³	144,42
3.3	DER-40660	Meio fio de concreto DP-1, inclusive caiação	m	69,46

Fonte: Própria.

Tabela 04: Relação de serviços e preço unitário para levantamento de custos de pavimentação e drenagem do PPBCP – Infiltração Parcial.

4. PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO - INFILTRAÇÃO PARCIAL				
Item	Referência	Descrição do Serviço	Unidade	Preço unitário (R\$)
4.1	Composição 01	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->0,05m,	m ²	157,94



		inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, exclusive transp. blocos e pedrisco		
4.2	DER-43327	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas	m ³	144,42
4.3	DER-40660	Meio fio de concreto DP-1, inclusive caiação	m	69,46
4.4	Composição 02	Dreno sub-superficial c/tubo PEAD perfur.d=100mm, env. geotêxtil RT-07, preenc. c/ brita	m	47,35
4.5	DER-40424	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40 m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas	m	288,03
4.6	DER-41174	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40m em Vias Urbanas	m	118,68
4.7	DER-41167	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40m (0,80 x 0,8 0m), em Vias Urbanas	und.	3.495,17

*O valor do transporte não foi incluso. Fonte: Própria.

Tabela 05. Relação de serviços e preço unitário para levantamento de custos de pavimentação e drenagem do PPBCP – Infiltração Parcial.

5. PAVIMENTO PERMEÁVEL COM BLOCO DE CONCRETO POROSO - SEM INFILTRAÇÃO				
Item	Referência	Descrição do Serviço	Unidade	Preço unitário (R\$)
5.1	Composição 01	Pavimentação com bloco de concreto poroso (20 Mpa), esp.-> 08cm, sobre colchão de pedrisco esp->05cm, inclusive fornecim. e transporte bloco e pedrisco, exclusive transp. blocos e pedrisco	m ²	157,94
5.2	DER-43327	Base de brita graduada, inclusive fornecimento, exclusive transporte da brita em vias urbanas	m ³	144,42
5.3	DER-40660	Meio fio de concreto DP-1, inclusive caiação	m	69,46
5.4	DER-41185	Dreno em PEAD perfurado diâm. = 100mm, inclusive transporte do tubo, em Vias Urbanas	m	12,43
5.5	DER-40424	Corpo BSTC (greide) diâmetro 0,40m CA-1 MF inclusive escavação, reaterro e transporte* em Vias Urbanas	m	288,03
5.6	DER-41174	Berço em brita para BSTC diâm. = 0,40m em Vias Urbanas	m	118,68
5.7	DER-41167	Poço de visita em bloco pré-moldado para d=0,30 e 0,40m (0,80 x 0,80m), em Vias Urbanas	und.	3.495,17
5.8	Composição 03	Geomembrana em (PEAD) de 1,00mm, fornecimento e aplicação.	m ²	30,26

*O valor do transporte não foi incluso. Fonte: Própria.

Para os itens que não existem na tabela do DER-ES foram realizadas composições de custo. Na Composição 01 (itens 3.1, 4.1 e 5.1 das tabelas 3,4 e 5, respectivamente), utilizou-se a cotação de bloco de concreto poroso para obtenção do preço de mercado desse material, sendo o valor cotado de R\$ 87,00/m².



Na Composição 02 (tem 4.4 da Tabela 4), utilizou-se dos custos referenciados de materiais da Tabela Referência de Preços do DER-ES (data base de janeiro de 2022), sendo os materiais utilizados a Brita (item DER 10114), a manta geotêxtil (item DER 10323) e o tubo perfurado de PEAD DN 100mm (item DER 10258).

Na Composição 03 (item 5.8 da Tabela 5) utilizou-se o item 44418 da Tabela referencial de preço do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – SINAPI, com data base em janeiro de 2022.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram levantados os custos de implantação do PPBCP considerando as três hipóteses de tipo de infiltração. Em cada uma das hipóteses, o custo levantado foi comparado ao custo de implantação do PCBC.

Verificou-se que, para solos com taxas de infiltração maiores que $1,11 \cdot 10^{-5} \text{m.s}^{-1}$ a espessura da camada de sub-base e base, calculada pelo método mecânico será sempre maior que a espessura calculada pelo método hidráulico-hidrológico, logo, nesse caso, considerando solos com $\text{CBR} \geq 8$ (típico de solos com alta taxa de infiltração), tem-se que a espessura da camada de sub-base e base será a mesma para o PPBCP e PCBC.

Considerando taxas de infiltração no solo maiores que $1,4 \cdot 10^{-6} \text{m.s}^{-1}$, tem-se o PPBCP com tipo infiltração total, onde os custos de implantação são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Custo de implantação do PPBCP Infiltração Total X PCBC.

CBR	TAXA DE INFILTRAÇÃO (m.s^{-1})	PPBCP – IT (R\$)	PCBC (R\$)	DIFERENÇA (%)
≥ 8	de $1,4 \cdot 10^{-6}$ a $1,11 \cdot 10^{-5}$	3.000.393,70	2.619.316,91	14,55%
≥ 8	$\geq 1,11 \cdot 10^{-5}$	2.556.580,07	2.619.316,91	-2,40%

Fonte: Própria.



Observa-se que, para solos com taxas de infiltração maiores que $1,11 \cdot 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, o custo de implantação do PPBCP de infiltração total é 2,4% mais baixo.

Para taxas de infiltração entre $1,4 \cdot 10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ e $1,11 \cdot 10^{-5} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, o custo de implantação do PPBCP de infiltração total é 14,55% mais alto. Isso ocorre porque as alturas calculadas pelo dimensionamento hidrológico-hidráulico são maiores que as alturas calculadas pelo método mecânico, com conseqüente incremento na camada de brita que compõe a sub-base e base do pavimento. Além disso, outro fator que onerou o custo do PP foi o preço do bloco de concreto poroso, sendo considerada, na composição do serviço de pavimentação, a cotação do bloco de concreto poroso em empresa da região, que se aparentou 33% mais caro que o preço do bloco de concreto convencional adotado pelo DER-ES.

Para solos com taxa de infiltração menores que $1,4 \cdot 10^{-6} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, o sistema de infiltração do pavimento permeável será de infiltração parcial, com custos de implantação apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Custo de implantação do PPBCP Infiltração Parcial X PCBC.

CBR	TAXA DE INFILTRAÇÃO ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	PPBCP - IP (R\$)	PCBC (R\$)	DIFERENÇA (%)
≥ 8	$1,40 \cdot 10^{-6}$	3.154.501,33	2.619.316,91	20,43%
≥ 8	10^{-7}	3.193.093,82	2.619.316,91	21,91%
Entre 6 e 8	$1,40 \cdot 10^{-6}$	3.154.501,33	2.677.205,64	17,83%
Entre 6 e 8	10^{-7}	3.193.093,82	2.677.205,64	19,27%
Entre 5 e 6	$1,40 \cdot 10^{-6}$	3.154.501,33	2.754.390,63	14,53%
Entre 5 e 6	10^{-7}	3.193.093,82	2.754.390,63	15,93%

Fonte: Própria.

Neste caso, os custos de implantação do PPBCP são maiores, chegando a uma diferença de 21,91%. A diferença pode ser atribuída aos custos do bloco de concreto poroso e da camada de sub-base e base, de maneira análoga ao caso do PPBCP do tipo infiltração total, além do custo do dreno envolto com a manta geotêxtil.



A Tabela 8 apresenta a comparação entre os custos de implantação do PPBCP do tipo sem infiltração e o PCBC.

Tabela 8. Custo de implantação do PPBCP Sem Infiltração X PCBC.

CBR	TAXA DE INFILTRAÇÃO (m.s ⁻¹)	PPBCP - IP (R\$)	PCBC (R\$)	DIFERENÇA (%)
≥ 8	0	3.557.442,27	2.619.316,91	35,82%
6	0	3.557.442,27	2.677.205,64	32,88%
5	0	3.557.442,27	2.754.390,63	29,16%
4	0	3.557.442,27	2.870.168,10	23,95%
3,5	0	3.557.442,27	2.928.056,83	21,49%
3	0	3.557.442,27	3.024.538,06	17,62%
2,5	0	3.557.442,27	3.121.019,28	13,98%
2	0	3.711.812,23	3.275.389,24	13,32%

Fonte: Própria.

A diferença de preço entre o PPBCP do tipo sem infiltração e o PCBC varia de 13,32% a 35,82%, dependendo do CBR do solo. Neste caso, a diferença pode ser atribuída aos custos do bloco de concreto poroso e da camada de sub-base e base, de maneira análoga ao caso do PPBCP do tipo infiltração total, além do custo da manta impermeável que se aplica ao caso do PPBCP tipo sem infiltração.

4. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Conclui-se que, para solos com alta taxa de infiltração (valores acima de $1,11 \cdot 10^{-5} \text{m.s}^{-1}$), o custo de implantação do PPBCP tipo infiltração total é 2,4% menor que o custo de implantação do PCBC, isso ocorre principalmente devido aos custos com dispositivos de drenagem que foram suprimidos.

Nos demais casos estudados, o custo de implantação do PPBCP foi superior, chegando a uma diferença de 14,55%, 21,91% e 35,82%, para o caso do PPBCP do tipo infiltração total, infiltração parcial e do tipo sem infiltração, respectivamente. Atribui-se essa diferença ao aumento da camada de sub-base e base e ao uso de dispositivos auxiliares como dreno e manta.



Outro fator observado foi a diferença entre o preço do bloco de concreto poroso e o preço do bloco de concreto convencional, da ordem de 33%, o que onera ainda mais a implantação do PPBCP. Contudo, deve-se considerar que o preço do bloco de concreto poroso pode ser reduzido se, em sua composição, forem utilizados materiais alternativos, tais como materiais recicláveis. A viabilidade técnica de produzir concreto poroso com adição de borracha de pneu reciclado, por exemplo, foi comprovada através de ensaios em laboratório (SILVA; FERNANDES, 2018).

De acordo com Teixeira (2005), o planejamento urbanístico hidrológicamente sustentável é aquele que trata as várias intervenções ou porções de território de forma integrada, tendo por princípio a ideia de que a qualquer pequena intervenção contribui para o sistema hidrológico como um todo. Sendo assim, com base na necessidade de planejar as cidades de forma sustentável, deve-se considerar as vantagens do PP, apesar do seu custo de implantação, inclusive, ressalta-se que os impactos positivos na bacia hidrográfica levam à um ganho econômico com a redução do sistema de drenagem a jusante.

Por fim, destaca-se que o presente estudo tratou apenas de custo de implantação e que em uma análise mais ampla, deve-se considerar, também, os custos de manutenção do sistema.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - ASCE. **Design and Construction of sanitary and storm sewers**. Manuals and Reports of Engineering Practice, New York, 37 p, 1969.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **ABNT NBR 6416:2015**: Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015. 25 p.

DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E DE RODOVIAS DO ESPÍRITO SANTO - DER-ES. Referencial de Preços Rodovias. **DER-ES**, 2022. Disponível em: <https://der.es.gov.br/referencial-de-precos-rodovias>. Acesso em: 24 jan. 2023.

KAYHANIAN, M. *et al.* Application of permeable pavements in highways for stormwater runoff management and pollution prevention: California research



experiences. **International Journal of Transportation Science and Technology**, v. 8, p. 358–372, 2019.

MARCHIONI, M.; BECCIU, G. Experimental Results on Permeable Pavements in Urban Areas: A Synthetic Review, **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 10, n. 7, p. 806–817, 2015.

MOTTA, L. D. A. **Procedimentos de projeto viário em pavimentos permeáveis com base na abnt nbr 16.416/2015** – comparação entre blocos permeáveis e convencionais. Dissertação (Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2019. 97 f.

SAADEH, S. *et al.* Application of fully permeable pavements as a sustainable approach for mitigation of stormwater runoff. **International Journal of Transportation Science and Technology**, v. 8, n. 4, p. 338–350, 2019.

SÃO PAULO. **IP-06 Instrução para dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto**. São Paulo: Município de São Paulo, 2005. 17 p. Disponível em https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/arquivos/secretarias/infraestruturaurbana/normas_tecnicas_de_pavimentacao/ip06.pdf. Acesso em: 24/01/2023.

SARMENTO, R. **Altura x duração x frequência das chuvas intensas no estado do Espírito Santo**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 1985.

SARTIPI, M.; SARTIPI, F. Stormwater retention using pervious concrete pavement: Great Western Sydney case study. **Case Studies in Construction Materials**, v. 11, 2019.

SILVA, L. C; FERNANDES, F. A. S. Produção De Concreto Poroso Com Adição De Borracha De Pneu Reciclado. **73º Congresso Anual da ABM – Internacional**, 2018, São Paulo, SP, Brasil.

SILVA, A. da. **Avaliação Experimental de Pavimentos Permeáveis e dimensionamento de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável: Estudo de caso da bacia do canal do Congo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, 2021.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI. Tabela Referencial de Preços. **SINAPI**, 2022. Disponível em: https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_645. Acesso em: 24/01/2023.



TEIXEIRA M. A. N. **Reposição da Permeabilidade dos Solos. Desafios para o Urbanismo Futuro.** Dissertação (mestrado em Planejamento e Projeto do Ambiente Urbano) - Universidade do Porto. Portugal, 2005.

TOLEDO. **Manual de drenagem urbana.** Município de Toledo, Estado do Paraná, 2017, p.37.

VIRGILIIS, A. L. C. de. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009. 196 f.

WOODS-BALLARD, B. *et al.* **The SuDS manual.** Londres: CIRIA - Classic House, 2007. 598 p.

XIE, N.; AKIN, M.; SHI, X. Pervious Concrete Pavements: A Review of Environmental Benefits and Durability. **Journal of Cleaner Production Journal.** Elsevier, vol. 210, p. 1605-1621, 2019.

Enviado: 13 de Dezembro, 2023.

Aprovado: 08 de Março, 2023.

¹ Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável. ORCID: 0000-0002-0845-5654. Currículo Lattes: 7278870081371270

² Orientador. ORCID: 0000-0003-1516-8853