

PAVIMENTO PERMEÁVEL: UMA SOLUÇÃO SUSTENTÁVEL PARA A PAVIMENTAÇÃO DE VIAS URBANAS

DOI: 10.19177/rgsa.v9e32020911-933

Luciano Dangelo Motta¹

Resumo

As medidas compensatórias de drenagem, como pavimentos permeáveis, vêm sendo introduzidas como soluções para os problemas de alagamentos em diversos países. Este estudo tem como objetivo fornecer elementos de projeto para vias em pavimento permeável, como alternativa técnica sustentável viável, por meio das diretrizes da ABNT NBR 16.416/2015. O estudo comparou os projetos viários em pavimento intertravado convencional com o pavimento permeável em blocos porosos em um empreendimento viário localizado no bairro Barra do Jucu no município de Vila Velha - ES. Ainda foi analisada a influência do pavimento permeável na drenagem em relação ao pavimento convencional e comparou-se seus custos para implantação. O estudo indicou que o pavimento permeável em blocos porosos influencia em uma diminuição nas quantidades dos dispositivos de drenagem e ocasionou a redução dos diâmetros dos bueiros, acarretando em menor profundidade de deságue da rede. Quanto aos resultados da análise comparativa dos custos entre os diferentes tipos de pavimentos estudados, verificou-se que apesar dos custos de pavimentação em blocos porosos ser 27,30% superior aos custos em relação à pavimentação em blocos de concreto convencionais, os custos com drenagem tiveram decréscimo de 30,94%, resultando em custos para implantação do empreendimento em blocos porosos em 3,74% maiores, em relação ao bloco de concreto convencional. Verificou-se, portanto, no caso estudado que o acréscimo nos custos da utilização do pavimento permeável pode ser compensado pela redução nos gastos com o sistema de drenagem podendo-se afirmar que os custos finais do empreendimento viário entre as duas soluções são similares, porém com a solução em pavimento permeável apresentando ganhos ambientais.

Palavras-chave: Pavimento Permeável. ABNT NBR 16.416/2015. Projeto Viário. Drenagem Urbana

¹ UFES. E-mail: luciano.engepavi@gmail.com

PERMEABLE FLOORING: A SUSTAINABLE SOLUTION FOR URBAN WAY PAVING

ABSTRACT

Compensatory drainage measures, such as permeable pavements, have been introduced as solutions to flooding problems in several countries. This study aims to provide design elements for roads in a permeable pavement, as a viable sustainable technical alternative, through the guidelines of ABNT NBR 16.416 / 2015. The study compared the road projects in conventional interlocking pavement with the permeable pavement in porous blocks in a road development located in the Barra do Jucu neighborhood in the municipality of Vila Velha - ES. The influence of the permeable pavement on drainage was also analyzed in relation to the conventional pavement and its costs for implementation were compared. The study indicated that the permeable pavement in porous blocks influences a decrease in the quantities of drainage devices and caused a reduction in the diameters of manholes, resulting in a lower drainage depth of the network. As for the results of the comparative cost analysis between the different types of pavements studied, it was found that despite the costs of paving in porous blocks being 27.30% higher than the costs in relation to paving in conventional concrete blocks, the costs with drainage had a decrease of 30.94%, resulting in costs for implantation of the enterprise in porous blocks in 3.74% higher, in relation to the conventional concrete block. It was found, therefore, in the case studied that the increase in the costs of using the permeable pavement can be offset by the reduction in expenses with the drainage system and it can be said that the final costs of the road project between the two solutions are similar, however with the permeable pavement solution showing environmental gains.

Keywords: Permeable Pavement. ABNT NBR 16.416 / 2015. Road Project. Urban Drainage

1 INTRODUÇÃO

Com a evolução da malha viária e o crescimento das cidades em todo o mundo, a impermeabilização do solo fez aumentar a frequência e a intensidade dos eventos de inundação urbana (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JÚNIOR, 2013).

A impermeabilização do solo afeta drasticamente o ciclo hidrológico, uma vez que uma parcela de água que infiltrava no solo passa a compor o escoamento superficial, aumentando os volumes escoados e as vazões de pico, ao mesmo tempo em que

ocorre a redução do tempo de concentração, fazendo com que os hidrogramas de cheias se tornem mais críticos, aumentando a frequência e magnitude das inundações (BURCHALES; SILVA, 2007).

A solução convencional para a drenagem urbana possui como princípio, que o afastamento da água da chuva deve se dar o mais rapidamente possível para a jusante, por meio de obras de canalização que aceleram o escoamento e o afastamento rápido dos picos de cheias para os corpos d'água de jusante.

Contudo, tal princípio tem sido questionado pelos profissionais da área de drenagem há alguns anos, por ocasionar a sobrecarga de córregos receptores, ou seja, da macrodrenagem.

Faz-se necessário, por conseguinte, a adoção de novas práticas e de novos conceitos, a fim de mudar o cenário atual.

Nesse contexto, destacam-se como soluções complementares de drenagem urbana, as medidas compensatórias que interferem no hidrograma por meio de armazenamento do escoamento superficial direto, percolação e infiltração, e que são utilizadas como técnicas alternativas de drenagem para reduzir ou controlar os excedentes pluviais gerados pela impermeabilização e pela poluição de origem pluvial, além de propiciar a recarga dos aquíferos subterrâneos (NASCIMENTO; HELLER, 2004).



Vários são os tipos de sistemas que vêm sendo estudados para esse fim, e a solução mais adequada passa pela análise de diferentes fatores, tais como características do solo (capacidade de infiltração e capacidade estrutural), nível do lençol freático e área disponível para implantação (REIS ABREU; DE OLIVEIRA ILHA, 2014).

Pavimentos permeáveis são infraestruturas de interfaces com capacidade estrutural suficiente quanto aos carregamentos de veículos e capacidade de modificar os componentes do ciclo hidrológico em comparação com o pavimento impermeável convencional (SANSALONE et al., 2012).

Assim, este estudo visa comparar um projeto viário utilizando soluções de pavimentação e drenagem convencionais com outro utilizando soluções não convencionais, através de pavimentos permeáveis com as diretrizes da ABNT NBR 16.416. A comparação entre as soluções visa demonstrar que existem soluções alternativas viáveis em projetos viários, com vantagem de contribuir na mitigação da impermeabilização do solo urbano.

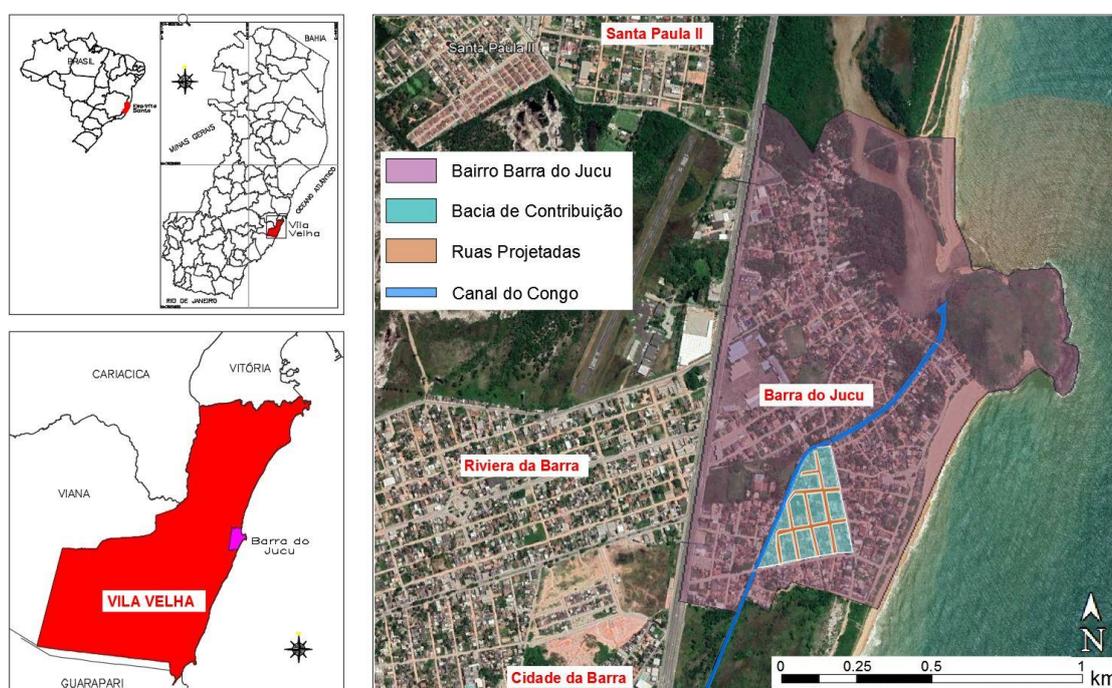
Para o desenvolvimento desse estudo, foi utilizado, como estudo de caso, vias urbanas submetidas a baixo fluxo de tráfego no bairro Barra do Jucu, localizado no município de Vila Velha, estado do Espírito Santo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os projetos foram elaborados nas vias urbanas localizadas em área caracterizada como planície costeira no município de Vila Velha.

O bairro Barra do Jucu está localizado na Região Administrativa V do município de Vila Velha – ES, denominado como Grande Jucu.

Figura 01: Localização da área de estudo



Fonte: Próprio Autor, adaptado de Google Earth.

Tratam-se de vias urbanas com função local e de tráfego leve, em área com característica predominantemente residencial, inseridas em região de planície costeira.

Figura 02: Localização das vias projetadas



Fonte: Google Earth

A situação da região é típica de diversas outras áreas litorâneas conforme abaixo:

- Local situado em planície costeira sob influência do nível das marés;
- Local com frequentes alagamentos;
- Ocupações de edificações das margens do corpo receptor, ocasionando seu estrangulamento e impossibilitando que ocorra pontos de deságue da drenagem das vias;
- Seção de vazão do corpo receptor com capacidade de desague deficiente;



3 SOLUÇÃO PROPOSTA

Pavimento permeável em blocos de concreto poroso

O pavimento permeável, além das funções mecânica e de conforto, típicas do pavimento tradicional, possui função drenante. O seu dimensionamento portanto, deve atender simultaneamente aos requisitos mecânicos e hidráulicos (ABNT, 2015).

Dimensionamento Mecânico

O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, apoiada e construída sobre uma superfície compacta de terraplanagem (designado como subleito), com o objetivo de suportar os impactos causados pelos esforços atuantes do tráfego de veículos e do intemperismo. Seu dimensionamento propõe condicionar aos usuários boas condições de rolamento, conforto e segurança, conforme a NBR 7207/82 da ABNT. No Brasil, essas estruturas são dimensionadas para uma vida útil de 10 anos.

O dimensionamento mecânico do pavimento em blocos pré-moldados foi elaborado de acordo com o “Método de Dimensionamento de Pavimentos com Blocos Pré-Moldados – Método da PCA –84 (*Portland Cement Association*)”, definido em função do tráfego e da capacidade de suporte do subleito.

O quadro 01 apresenta resumo do dimensionamento mecânico da estrutura do pavimento para o empreendimento estudado.

Quadro 01: Resultado do dimensionamento mecânico do pavimento

Revestimento em Blocos (cm)	Camada de Assentamento (cm)	Base (cm)
8,0	4,0	17,0

Fonte: Próprio Autor

Dimensionamento Hidrológico-hidráulico

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



Onde:

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

ΔQc é a precipitação excedente da área de contribuição para uma dada 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);

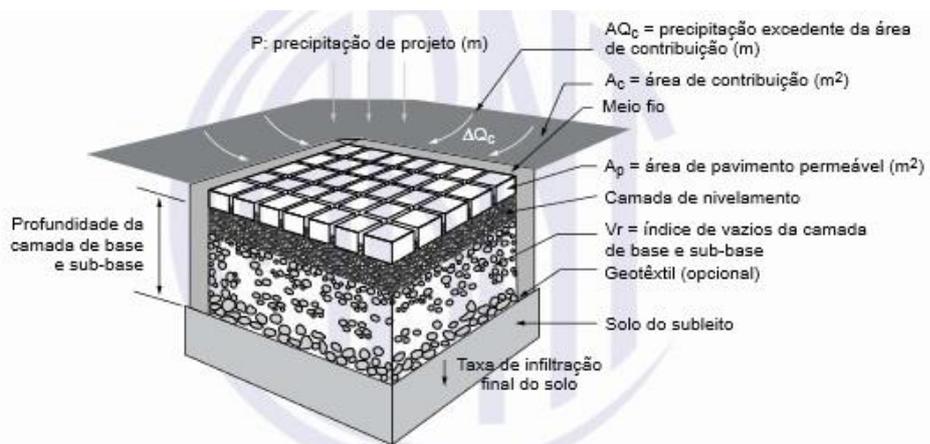
P é a precipitação de projeto (m);

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 03: Ilustração dos parâmetros de dimensionamento hidrológico-hidráulico



Fonte: ABNT, 2015.

Precipitação de Projeto

A precipitação de projeto foi determinada por meio da equação de chuva, do estudo denominado “Altura-Duração-Frequência das Chuvas Intensas no Estado do Espírito Santo”, para a região da grande Vitória - ES (SARMENTO, 1985):



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

Em que:

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

T é o período de retorno (anos);

t é o tempo de duração da chuva (min) e

Para definição da precipitação de projeto ou intensidade máxima média de chuva foi fixado o período de retorno T de 10 anos e tempo de duração ou tempo de concentração t em 60 minutos.

Precipitação Excedente

Dentre as diversas metodologias para determinação do escoamento superficial direto, o método do *SCS Curve Number* se destaca como a mais popularizada entre os projetistas (NAGARAJAN; POONGOTHAI, 2012).

No método apresentado pelo *Soil Conservation Service (SCS)* é feita a separação de escoamento por meio do número de deflúvio (CN), considerando os atributos físicos da bacia e os diferentes tipos de uso de ocupação (MATHIAS; CUNHA; MORUZZI, 2013).

Por meio das equações 1, 2, e 3 e adotando-se o CN de 85, obtido nas tabelas do método, grupo hidrológico do solo tipo B em área residenciais de baixa densidade e condição de umidade II.

$$S_D = \frac{25.400 - 254CN}{CN} = 44,82mm$$

$$I_a = 0,2 \cdot S_D = 8,96mm$$

$$P_E = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S_D} ; P > I_a = 20,81mm$$

Área de contribuição

A área de contribuição do empreendimento foi de 69.346,00m², conforme a figura 04:



Figura 04: Área de Contribuição



Fonte: Google Earth

Área permeável

A área permeável totalizou 24.435,00m², conforme figura 05.

Figura 05: Área permeável



Relação Ac/Ap

A relação área de contribuição e área permeável foi de 2,85

Taxa de infiltração no solo

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

Os estudos geotécnicos na área do empreendimento indicaram predominância de solos arenosos, com macroporos, a taxa de infiltração é elevada e ocorre uma drenagem livre da água em profundidades inferiores a dois metros.

Quadro 02: Permeabilidade de solos

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

Fonte: (ABNT, 2015).

Tempo efetivo de enchimento da camada reservatório

De acordo com Pinto (2011), este método propõe a utilização de 2 horas para esse parâmetro, entretanto, não apresenta justificativa para a adoção deste valor e nem tão pouco, comenta esse parâmetro mais profundamente. Pode-se afirmar que quanto mais rápido o enchimento da estrutura reservatório, mais rápido se dará a sua saída e que este valor depende do tipo de revestimento utilizado na estrutura e dos materiais da camada de base, e está diretamente ligado ao amortecimento da vazão afluyente (PINTO, 2011).

Índice de Vazios

O índice de vazios dos materiais constituintes das camadas de base e sub-base é o elemento fundamental na determinação da espessura da camada reservatório. Os vazios existentes entre o material granular serão responsáveis pelo desempenho da estrutura projetada, pois permitirão a percolação da água e possibilitarão maior ou menor armazenamento da água de chuva.



Os materiais comumente empregados nessas camadas são a brita graduada simples, macadame hidráulico (pedra 3) e pó de pedra, pois possuem porosidade variando entre 29% e 40% (PINTO, 2011).

Para a área estudada, foi utilizado como material para reservatório, a brita graduada simples, faixa A, com índice de vazios estimado em 29%.

Nível do lençol freático

Os resultados demonstram que 3 locais apresentaram registros da profundidade do nível de água do lençol freático inferior a 1,0m. De acordo com as diretrizes da ABNT NBR 16.416, esses locais deverão ser projetados como pavimentos permeáveis do tipo sem infiltração.

Tipos de Infiltração

O tipo de infiltração deve ser definido em função das condições locais, conforme quadro abaixo:

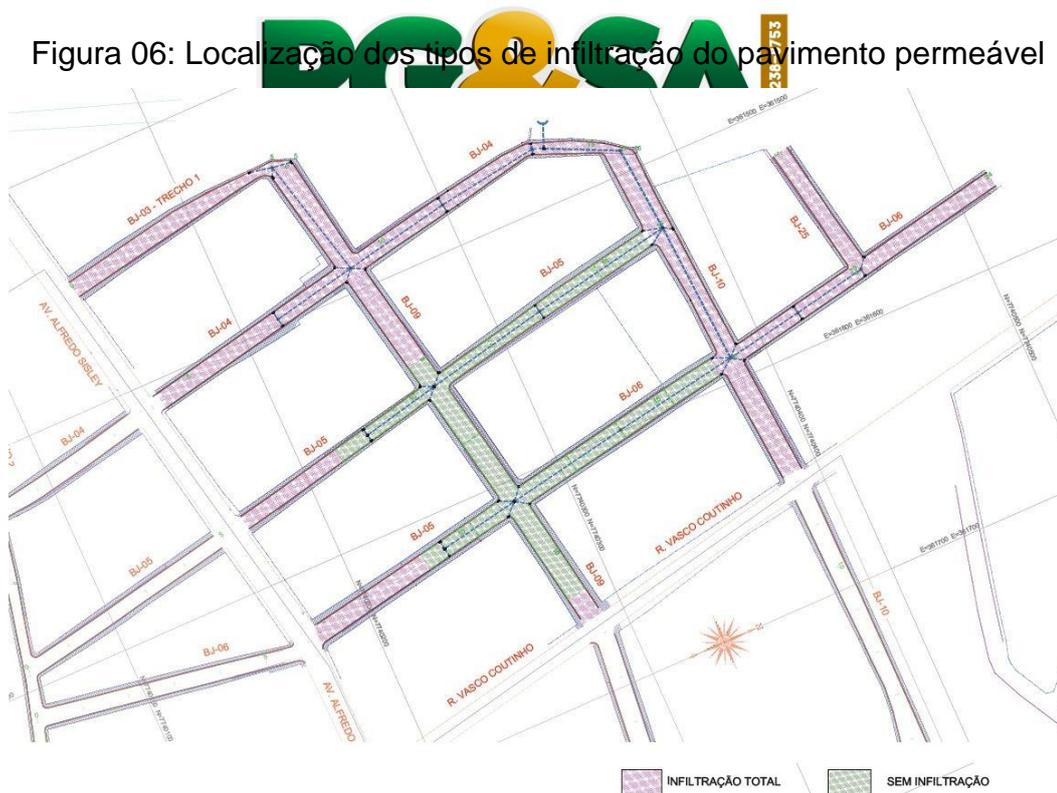
Quadro 03: Definição do tipo de infiltração

Condições locais		Infiltração Total	Infiltração Parcial	Sem Infiltração
Permeabilidade do subleito definida pelo coeficiente de permeabilidade k (m/s)	$> 10^{-3}$	✓	✓	✓
	10^{-3} a 10^{-5}	x	✓	✓
	10^{-5} a 10^{-7}	x	x	✓
Máximo registro do lençol freático a pelo menos 1,0 m da camada inferior da base		x	x	✓
Presença de contaminantes no subleito		x	x	✓

Fonte: (ABNT, 2015).

A figura 06 apresenta planta com a localização das áreas em pavimento permeável do tipo infiltração total e das áreas em pavimento permeável do tipo sem infiltração:

Figura 06: Localização dos tipos de infiltração do pavimento permeável



Fonte: Próprio Autor

Dimensionamento da camada reservatório

Portanto, o dimensionamento do pavimento permeável deve ser elaborado a partir do enfoque mecânico, possuindo a espessura necessária para o suporte do tráfego de projeto e enfoque hidráulico, para armazenamento e amortecimento da vazão afluyente no qual a espessura é função da precipitação, da duração da chuva, do período de retorno e da porosidade do material granular adotado para o reservatório.

Tabela 01: Dimensionamento Hidrológico-Hidráulico do Pavimento do tipo infiltração total

Duração (min)	ΔQ_c	R	P(m)	f(m/h)	te (hs)	Vr	H (m)
60	0,020	2,85	0,051	0,036	2,0	0,29	0,15

Fonte: Próprio Autor

Tabela 02: Dimensionamento Hidrológico-Hidráulico do Pavimento do tipo sem infiltração

Duração (min)	ΔQ_c	R	P(m)	f(m/h)	te (hs)	Vr	H (m)
60	0,020	2,85	0,051	0,0	2,0	0,29	0,36

Fonte: Próprio Autor

Resultados e discussão

A partir dos resultados obtidos nos estudos e projetos desenvolvidos para as vias localizadas no bairro Barra do Jucu em Vila Velha – ES, buscou-se analisar os resultados quanto ao projeto desenvolvido em pavimento permeável em blocos de concreto poroso em comparação ao pavimento em blocos de concreto convencional. Nessa análise buscou-se comparação dos dimensionamentos da pavimentação e dos dispositivos de drenagem e custos.

Para a comparação entre as duas propostas de projeto de pavimentação, se fez necessário o dimensionamento do pavimento convencional e do pavimento permeável do tipo de infiltração total e do tipo sem infiltração.

O quadro 04 apresenta o resultado do dimensionamento da camada de base/reservatório desses pavimentos:

Quadro 04: Resultado dimensionamento camada de base/reservatório

Dimensionamento Mecânico	Dimensionamento Hidráulico com infiltração total	Dimensionamento hidráulico sem infiltração
0,17m	0,15m	0,36m

Fonte: Próprio Autor

O dimensionamento de camada reservatório em pavimento permeável do tipo sem infiltração se fez necessário em consequência de locais apresentarem nível do lençol freático acima de 1,0m conforme indica a ABNT NBR 16.416:2015.

Sendo o pavimento uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito o terreno de fundação, denominado de subleito. Este deve ser estudado e considerado até a profundidade onde atuam, de forma significativa, as cargas impostas pelo tráfego, que em termos práticos situa-se numa faixa entre 0,60m a 1,50m (DNIT, 2006).

Além das questões mecânicas, o nível do lençol próximo à camada inferior de base/reservatório impossibilita a infiltração das águas pluviais no solo de subleito, necessitando de incremento de sua espessura, além de tubulação de drenagem e membrana impermeável.

De acordo com norma ABNT NBR 16.416/2015, o projeto de um pavimento permeável deve atender concomitantemente aos dimensionamentos mecânico e hidráulico, resultando na área estudada, na espessura dimensionada mecanicamente para os locais projetados como infiltração total e espessura obtida no dimensionamento hidráulico para os locais projetados como sem infiltração.

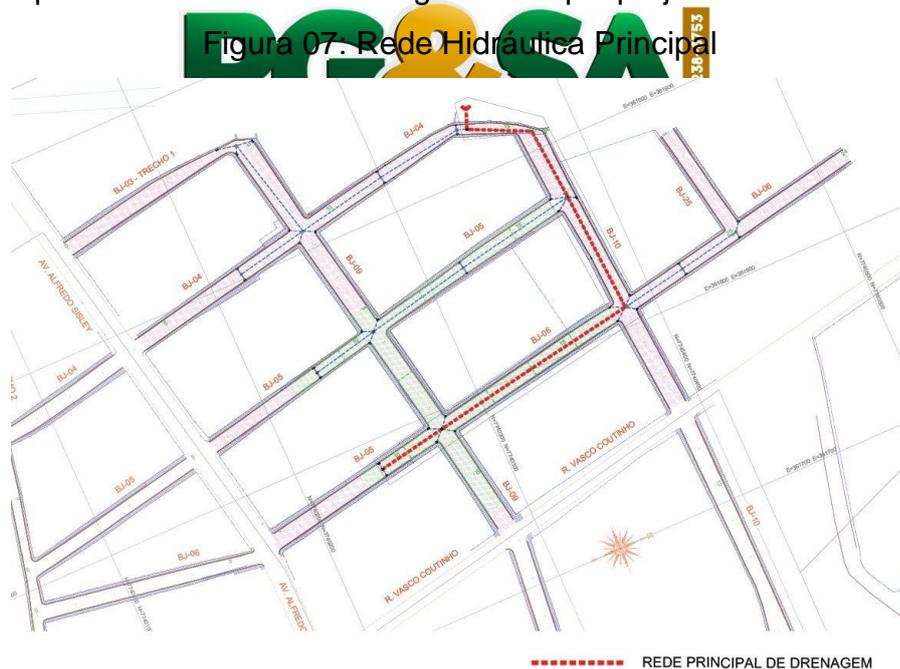
O dimensionamento de camada reservatório em pavimento permeável do tipo sem infiltração se fez necessário em consequência de locais apresentarem nível do lençol freático acima de 1,0m conforme indica a ABNT NBR 16.416:2015.

O nível do lençol próximo à camada inferior de base/reservatório impossibilita a infiltração das águas pluviais no solo de subleito, necessitando de incremento de sua espessura, além de tubulação de drenagem e membrana impermeável.

4 AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TIPO DE PAVIMENTO NO DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Quanto à rede de drenagem projetada, foi utilizado o Método Racional e definido o escoamento superficial gerado pelo pavimento em blocos de concreto convencional, com valor de coeficiente C igual a 0,78 obtido de Araújo et al (2000). Para os pavimentos em blocos de concreto poroso, foram adotados os valores de C de 0,40, obtido de (PINTO, 2011), resultando num sistema de drenagem misto (compensatória e convencional).

A figura 08 apresenta a Rede de Drenagem Principal projetada:



Fonte: Próprio Autor

A tabela 03 apresenta o resultado do dimensionamento da rede principal de drenagem em pavimentos em blocos intertravados de concreto convencional.

Tabela 03: Dimensionamento Hidráulico da Rede Hidráulica Principal em Blocos Tradicionais

PV	i	Comp.	Área	I	Vel.	Vazão	Diâmetro (m)	
	(%)	(m)	(km ²)	(mm/h)	(m/s)	(m ³ /s)	Adotado	Calculado
PV - 08	0,25	35,00	0,0019	109,89	0,72	0,04	0,40	0,34
PV - 09	0,35	55,00	0,0088	109,89	1,11	0,21	0,60	0,57
PV - 10	0,35	55,00	0,0088	109,89	1,11	0,21	0,60	0,57
PV - 13	0,50	62,50	0,0164	109,89	1,61	0,39	0,80	0,68
PV - 14	0,30	37,50	0,0304	109,89	1,45	0,72	1,00	0,94
PV - 15	0,30	37,50	0,0304	109,89	1,45	0,72	1,00	0,94
PV - 16	0,50	10,00	0,0426	109,89	1,87	1,02	1,00	0,97

Fonte: Próprio Autor

A tabela 04 apresenta o resultado do dimensionamento da rede principal de drenagem em pavimento permeável em blocos porosos.

Tabela 04: Dimensionamento Hidráulico da Rede Hidráulica Principal em Blocos Porosos

PV	i	Comp.	Área	I	Vel.	Vazão	Diâmetro (m)		
	(%)	(m)	(km ²)	(mm/h)	(m/s)	(m ³ /s)	Adotado	Calculado	Qtd.
PV - 08	0,25	35,00	0,0019	109,89	0,72	0,02	0,40	0,27	1
PV - 09	0,35	55,00	0,0088	109,89	0,85	0,11	0,40	0,45	1
PV - 10	0,35	55,00	0,0088	109,89	0,85	0,11	0,40	0,45	1
PV - 13	0,50	62,50	0,0164	109,89	1,33	0,20	0,60	0,53	1
PV - 14	0,30	37,50	0,0304	109,89	1,25	0,37	0,80	0,73	1
PV - 15	0,30	37,50	0,0304	109,89	1,25	0,37	0,80	0,73	1
PV - 16	0,50	10,00	0,0426	109,89	1,61	0,52	0,80	0,75	1



Fonte: Próprio Autor

Nessas condições, foi possível avaliar a influência do tipo de pavimento no dimensionamento dos dispositivos de drenagem de águas pluviais conforme tabela 05.

Tabela 05: Resultados da influência do pavimento na rede de drenagem projetada

		Bloco de concreto	Bloco poroso	Diferença (%)
Poços de Visita	Unid	28,00	16,00	- 42,85
Caixas ralo	Unid	62,00	36,00	- 41,93
Bueiros ø 0,40m	m	729,00	692,00	- 5,10
Bueiros ø 0,60m	m	300,00	62,00	- 79,33
Bueiros ø 0,80m	m	96,00	79,00	- 17,70
Bueiros ø 1,00m	m	46,00	0,00	- 100,00
Total rede	m	1.171,00	833,00	-28,86

Fonte: Próprio Autor

Verificou-se, portanto, que o cenário estudado apresentou um decréscimo no comprimento da rede de drenagem em blocos porosos em comparação aos blocos de

concreto convencionais pelo motivo da redução do escoamento superficial devido ao aumento da capacidade de infiltração do pavimento, conseqüentemente proporcionando um distanciamento maior entre o início de rede e entre os dispositivos de captação das águas de chuva.

O maior distanciamento entre os dispositivos de captação das águas de chuva, como poços de visita e caixas ralo se fez devido ao aumento no comprimento crítico do meio-fio sarjeta, ocasionando ainda a diminuição dos ramais de ligação (Bueiros \varnothing 0,40m).

O tipo de pavimento ainda influenciou na diminuição do diâmetro das tubulações conforme observado nos quadros 05 e 06.

Verificou-se ainda por meio das comparações entre os projetos de drenagem da rede principal em blocos convencionais e em blocos porosos e as informações referentes ao nível do lençol freático obtidos na investigação geotécnica.

As figuras 08 e 09 ilustram o comportamento da rede de drenagem de águas pluviais da rede principal.

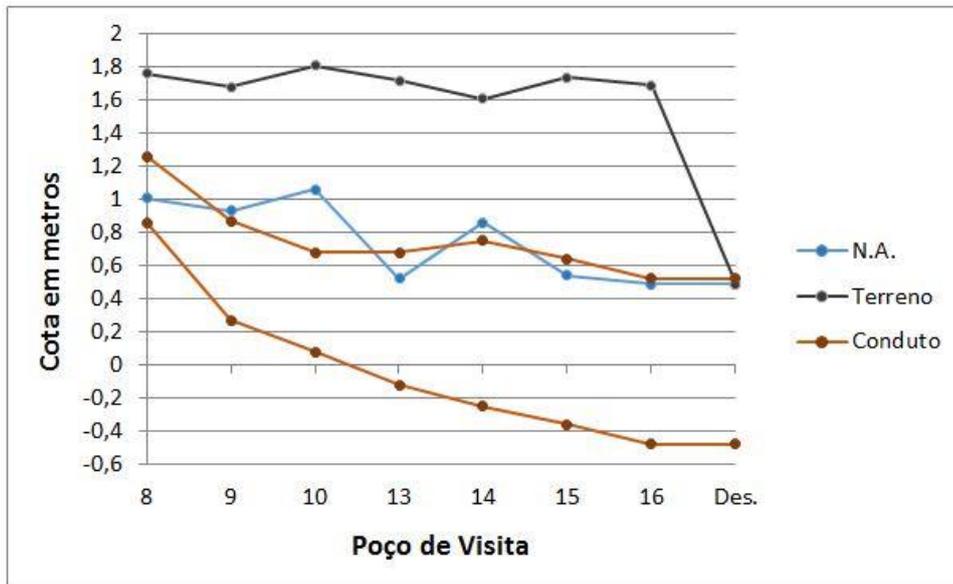


Quadro 05: Dados Rede Hidráulica Principal em Blocos Convencionais

PV	CT	CS	CF	NA	Diâmetro	Recobr.
8	1,76	1,26	0,86	1,01	0,4	0,50
9	1,68	0,87	0,27	0,93	0,6	0,81
10	1,81	0,68	0,08	1,06	0,6	1,13
13	1,72	0,68	-0,12	0,52	0,8	1,04
14	1,61	0,75	-0,25	0,86	1,0	0,86
15	1,74	0,64	-0,36	0,54	1,0	1,10
16	1,69	0,52	-0,48	0,49	1,0	1,17
Des.	0,49	0,52	-0,48	0,49	1,0	-0,03

Fonte: Próprio Autor

Figura 08: Gráfico Comportamento da Rede Hidráulica Principal em Blocos Convencionais



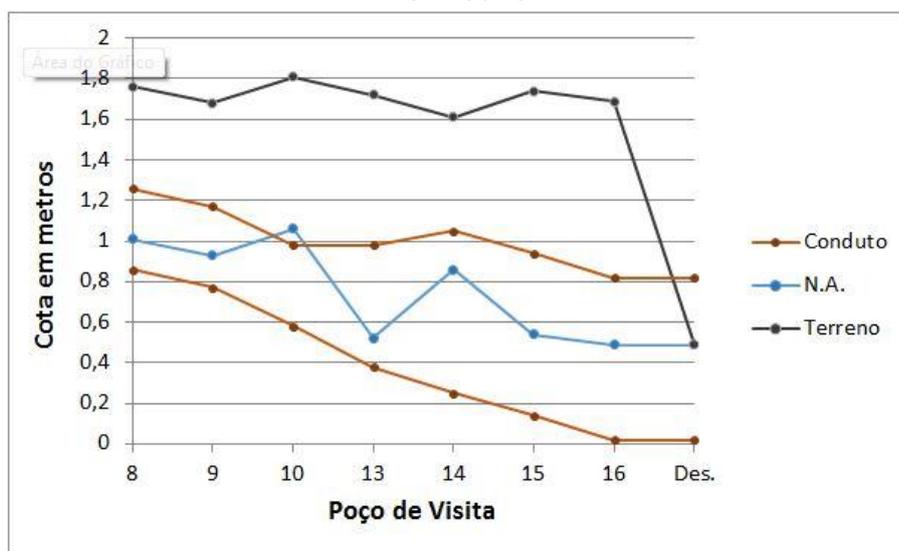
Fonte: Próprio Autor

Quadro 06: Dados Rede Hidráulica Principal em Pavimento Permeável

PV	CT	CS	CF	NA	Diâmetro	Recobr.
8	1,76	1,26	0,86	1,01	0,4	0,5
9	1,68	1,17	0,77	0,93	0,4	0,51
10	1,81	0,98	0,58	1,06	0,4	0,83
13	1,72	0,98	0,38	0,52	0,6	0,74
14	1,61	1,05	0,25	0,86	0,8	0,56
15	1,74	0,94	0,14	0,54	0,8	0,8
16	1,69	0,82	0,02	0,49	0,8	0,87
Des.	0,49	0,82	0,02	0,49	0,8	-0,33

Fonte: Próprio Autor

Figura 09: Gráfico Comportamento da Rede Hidráulica Principal em Pavimento Permeável



Fonte: Próprio Autor

Numa avaliação do comportamento das redes de drenagem projetadas, verificamos que a utilização do pavimento permeável propiciou menores diâmetros da rede de bueiros, em relação ao pavimento em blocos de concreto convencional e, conseqüentemente, uma cota de fundo no deságue de 0,50m superior e topo do conduto em melhores condições quanto ao grau de sobrecarga no deságue. A análise ainda permite verificar que, enquanto a tubulação da rede principal de vias em pavimentos em blocos convencionais funciona totalmente submersa, a tubulação com diâmetros menores da via em pavimentos permeáveis tem cotas de fundo superiores e menor grau de sobrecarga.

5 ANÁLISE DO CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO DO PAVIMENTO PERMEÁVEL EM RELAÇÃO AO CONVENCIONAL

A partir dos resultados dos estudos, buscou-se obter os custos iniciais das obras em pavimento convencional e pavimento permeável. Não foram considerados nos estudos, custos quanto a manutenção.

Pode-se observar que, em uma análise do ponto de vista econômico, a principal dificuldade consiste em quantificar, em termos monetários, alguns custos e benefícios referentes ao sistema. Por exemplo, a análise dos custos ou benefícios ambientais decorrentes da contribuição dos pavimentos permeáveis para a recarga do aquífero

requer uma avaliação dos possíveis efeitos da poluição e dos benefícios do aumento do nível do lençol (ACIOLI, 2005).

A tabela 06 apresenta resumo dos custos para a implantação das obras viárias em pavimento utilizando blocos de concreto convencionais e blocos de concreto poroso.

Tabela 06: Resumo Custos (R\$/Km)

DESCRIÇÃO DO SERVIÇO	CONVENCIONAL	PERMEÁVEL	DIFERENÇA (%)
TERRAPLANAGEM	R\$ 95.901,68	R\$ 95.901,68	0,00%
DRENAGEM	R\$ 502.386,35	R\$ 346.946,07	-30,94%
PAVIMENTAÇÃO	R\$ 881.929,40	R\$ 1.122.717,02	27,30%
OBRAS COMPLEMENTARES	R\$ 585.697,56	R\$ 585.697,56	0,00%
SINALIZAÇÃO	R\$ 13.809,52	R\$ 13.809,52	0,00%
CANTEIRO DE OBRAS	R\$ 204.604,06	R\$ 204.604,06	0,00%
TOTAL	R\$ 2.284.328,58	R\$ 2.369.675,91	3,74%

Fonte: Próprio Autor

Comparando-se os valores da tabela 06, verifica-se um custo superior do item pavimentação em 27,30% em pavimento permeável em comparação com o pavimento revestido em blocos de concreto convencionais. A diferença se dá nos valores do bloco, no aumento da espessura da camada de base e emprego de geomembrana impermeável e geotubos.

Para os blocos de concreto poroso utiliza-se o agregado de graduação aberta, que apresenta distribuição granulométrica contínua com insuficiência de materiais finos (menor que 0,075 mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, resultando em maior volume de vazios, e conseqüentemente em maior permeabilidade ao concreto. O concreto poroso é produzido com mais cimento que o

concreto denso (MONTEIRO, 2010), sendo um dos fatores para aumento do seu custo, junto com a sua baixa demanda atual.

Outro fator, foi a necessidade de projetar pavimentos permeáveis do tipo sem infiltração em locais que apresentaram nível do lençol freático acima do recomendado, que demandaram aumento da espessura da camada de base, além de geomembrana impermeável e geotubos.

Em contrapartida, a utilização do pavimento permeável revestido em blocos de concreto porosos, proporcionou um decréscimo nos custos da drenagem de 30,94%. Esse decréscimo se deu pela redução no comprimento da rede de drenagem, maior distanciamento entre os dispositivos de drenagem e redução nos diâmetros dos bueiros, proporcionando menores escavações e quantidades de materiais transportados e utilizados.

Quanto ao custo total para implantação do empreendimento, verificou-se acréscimo de 3,74% com o uso do pavimento permeável em blocos de concreto porosos em comparação com os blocos convencionais. Esse acréscimo pode ser considerado muito baixo, além de não estar inserido os ganhos ambientais.

O estudo proporcionou ainda, uma comparação entre os custos do pavimento convencional em bloco de concreto, pavimento permeável em bloco poroso com infiltração total e pavimento permeável em bloco poroso sem infiltração para a área estudada.

Para efeito de comparação, está sendo apresentado o resumo dos custos em R\$/m², conforme tabela 08.

Tabela 08: Resumo Custos (R\$/m²)

Bloco concreto	Bloco poroso infiltração total	Bloco poroso sem infiltração
120,04	131,46	202,95

Fonte: Próprio Autor

Verifica-se que o projeto em blocos de concreto convencionais foi na extensão total das vias projetadas de 1.355,00m, numa área de 9.995,00m². Já o projeto de pavimentação em pavimentos permeáveis teve locais projetados do tipo infiltração total, numa extensão de 945,00m e área de 6.845,00m² e pavimentos permeáveis do tipo sem infiltração, numa extensão de 410,00m e área de 3.110,00m².

6 CONCLUSÕES

Quanto a influência do tipo de pavimento no dimensionamento e comportamento da rede de drenagem da área de contribuição estudada, verificou-se que o pavimento permeável possibilita uma diminuição da rede e dispositivos, além de suas dimensões, influenciando no comportamento da rede, que passa a se situar numa profundidade menor, sofrendo menor influência do nível do lençol freático e conseqüentemente, funcionando menos afogada.

Quanto a comparação de custos entre o pavimento permeável e o pavimento convencional, verificou-se no caso estudado que o acréscimo nos custos da pavimentação, foram compensados nos custos da drenagem, podendo-se afirmar que os custos finais do empreendimento viário entre as duas soluções são similares para esse caso. Há de ressaltar que não foram avaliados os ganhos ambientais, nem custos quanto a manutenção.

No que se refere aos custos dos tipos de pavimentos permeáveis, os estudos apontam que o do tipo sem infiltração foi superior em aproximadamente 35% em comparação ao do tipo infiltração total devido à necessidade de aumento da espessura da camada reservatório e do uso de geomembranas impermeáveis e geotubos.



REFERÊNCIAS

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

BURCHALES, L. G. E.; SILVA, S. M. C. P. Avaliação do volume de água pluvial drenado em um empreendimento habitacional: estudo de caso em Londrina - PR. **Ambiente Construído - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, v. 7, n. 2, p. 45–57, 2007.

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

MATHIAS, D. T. .; CUNHA, C. M. L. .; MORUZZI, R. B. . Implicações Geomorfológicas das Alterações do Escoamento Superficial pela Urbanização: Análise dos Processos Erosivos na Bacia Hidrográfica do Córrego Tucunzinho (São Pedro — SP). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2013.

NAGARAJAN, N.; POONGOTHAI, S. Spatial Mapping of Runoff from a watershed using SCS-CN Method with Remote Sensing and GIS. **Journal of Hydrologic Engineering**, 2012.

NASCIMENTO, N. D. O.; HELLER, L. Ciência, Tecnologia E Inovação Na Interface Entre As Áreas De Recursos Hídricos E Saneamento. **Eng. sanit. ambient**, v. 10, n. 1, p. 36–48, 2004.

PINTO, L. L. C. A. O Desempenho De Pavimentos Permeáveis Como Medida Mitigadora Da Impermeabilização Do Solo Urbano. p. 283, 2011.

REIS ABREU, P. R.; DE OLIVEIRA ILHA, M. S. Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 2, p. 79–90, 2014.

SANSALONE, J. et al. Filtration and clogging of permeable pavement loaded by urban drainage. **Water Research**, v. 46, n. 20, p. 6763–6774, 2012.

SARMENTO, R. Altura-duração-frequência das chuvas intensas no Estado do Espírito Santo. **CT-UFES**, 1985.

SMITH, D. R. Permeable interlocking concrete pavements. **Interlocking Concrete Pavement Institute**, p. 44, 2001.

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

