PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: COMPOSIÇÃO DE CUSTOS E ANÁLISE DA RECOMPOSIÇÃO DO COEFICIENTE DE INFILTRAÇÃO

Isabelle Rodrigues Leme[1]
Tecnóloga em Hidráulica e Saneamento Ambiental pela FATEC SP.
Ana Paula Pereira da Silveira[2]
Bióloga pela Fundação Santo André, Tecnóloga em Hidráulica e Saneamento Ambiental pela FATEC SP, mestre em tecnologia pelo Centro Paula Souza e doutora em energia pela Universidade Federal do ABC.
Luiz Eduardo Mendes[3]
Tecnólogo em Obras Hidráulicas pela Fatec-SP- 1991, Engenheiro Civil formado pela Fesp São Paulo- 1997, Mestre em tecnologia de Processos Produtivos pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza-2016 e Doutorando em Recursos Hídricos e Energéticos- FEA-Unicamp
Débora de Jesus Siqueira[4]
Tecnóloga em Hidráulica e Saneamento Ambiental, Engenheira Civil, mestra e doutoranda em Engenharia Civil, docente do Centro Paula Souza. Atua nas áreas de recursos hídricos, hidráulica, saneamento ambiental, modelagem hidrológica e hidrodinâmica, geoprocessamento e educação tecnológica.

Endereço[1]**:** Av. Imirim, 608 - Casa 14 - Imirim - São Paulo - SP - CEP: 02464-000 - Brasil - Tel: +55 (11) 99750-2782 - e-mail: lemeisabelle0@gmail.com.

RESUMO

A urbanização intensificou o processo de impermeabilização do solo, causando uma sobrecarga nos sistemas de drenagem e aumento do escoamento superficial, agravando problemas ambientais, sociais, econômicos e de saúde pública. Pavimentos permeáveis surgem como uma solução, pois são sistemas de drenagem sustentável que permitem a infiltração da água no solo, consequentemente auxiliando na infiltração de águas pluviais e minimizando os impactos como enchentes, ilhas de calor e erosão, por exemplo. O presente trabalho, através de uma pesquisa explicativa, analisa a viabilidade dos pavimentos permeáveis e compara os pavimentos convencionais, asfalto poroso, concreto permeável e piso intertravado permeável considerando aspectos técnicos, o custo de implantação e o desempenho hidráulico, relacionado a eficiência da capacidade de infiltração. A análise resulta no custo inicial de pavimentos permeáveis mais elevados e maior recorrência de inspeções e custo de manutenção, entretanto resulta em benefícios ambientais e econômicos significativos a longo prazo. Conclui-se que apesar das limitações, essa alternativa sustentável apresenta potencial técnico, ambiental e econômico para a aplicação em projetos de infraestrutura.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentos permeáveis, Coeficiente de infiltração e Custos de implantação.

INTRODUÇÃO

A expansão da infraestrutura urbana e o crescimento acelerado das cidades resultaram em um intenso processo de impermeabilização do solo, causando impactos ambientais. Entre as principais consequências desse fenômeno, estão o aumento do escoamento superficial, a maior frequência de enchentes, a erosão do solo, a sobrecarga nos sistemas de drenagem e a redução na recarga dos aquíferos. Portanto, se tornou imprescindível a busca de soluções que conciliem a preservação ambiental e o desenvolvimento urbano.

Dentre as soluções, uma delas é a implantação de pavimentos permeáveis, que permitem a infiltração da água da chuva, contribuindo para a recarga dos aquíferos, a filtragem natural da água e a redução do escoamento superficial. Além das vantagens ambientais, também traz benefícios econômicos, como a diminuição de gastos em galerias pluviais, e sociais, como redução de doenças de veiculação hídrica e a melhora na qualidade de vida da população.

Entretanto, ainda existem obstáculos para a adoção dessa tecnologia, principalmente do ponto de vista técnico e cultural. Sob a perspectiva técnica, mesmo com a ampliação do conceito da preservação ambiental, ainda não existe uma base sólida de informações técnicas, principalmente no que se diz respeito a permeabilidade e a durabilidade dos pavimentos permeáveis. Enquanto numa análise cultural existe grande resistência social, em que boa parte da população associa tais soluções como medidas desnecessárias.

Com esse cenário, é necessário a avaliação de forma integrada dos pavimentos permeáveis, possibilitando a identificação de alternativas mais viáveis tecnicamente e economicamente, para cada caso, além de fornecer fundamentação para a inserção de projetos urbanos que integrem infraestrutura e sustentabilidade.

OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de diferentes tipos de pavimentos permeáveis, considerando o coeficiente de infiltração, os custos de implantação, manutenção preventiva e recuperação, além de compará-los ao pavimento asfáltico convencional, a fim de verificar a viabilidade técnica e econômica da sua aplicação.

METODOLOGIA

Nas últimas décadas, ocorreu uma explosão demográfica nas áreas urbanas do país, ocorrendo principalmente nas regiões metropolitanas e nos polos regionais. Entretanto, de acordo com TUCCI (2008), enquanto as Regiões Metropolitanas (RM) possuem uma baixa taxa de crescimento, ocorre o aumento acelerado da taxa populacional nas periferias.

Esse crescimento populacional progride simultaneamente com a frequência das inundações, devido a impermeabilização do solo, ocupação das áreas de várzea, a canalização dos rios e córregos e com o aumento da poluição. Como já falado anteriormente, o crescimento da população ocorre, em sua maior escala, nas periferias, que ocupam locais de maior risco de escorregamentos e inundações. (TUCCI, 2003).

Essa situação gera grandes consequências, conforme quadro 01:

QUADRO 01 - Consequências da urbanização

CONSEQUÊNCIAS		
AMBIENTAIS	**SOCIAIS**	**ECONÔMICAS**
Poluição	Crescimento desordenado	Aumento do custo de vida
Desmatamento de áreas verdes	Ocupações irregulares	Desemprego e informalidade
Ilhas de calor	Desigualdade social	Dependência econômica
Impermeabilização do solo	Violência urbana	Concentração de renda
Degradação ambiental	Problemas na mobilidade	Expansão da pobreza urbana
Pressão sobre recursos naturais	Doenças de veiculação hídrica	Gentrificação
Déficit de saneamento básico	Epidemias urbanas	Altos custos de infraestrutura
Assoreamento de rios e córregos	Trabalho infantil	Concentração de investimentos
Enchentes urbanas	Perda de senso de comunidade	Impactos de desastres urbanos

Fonte: elaboração própria

No ponto de vista dos sistemas de drenagem, os principais impactos são: aumento do escoamento superficial, adiantamento do pico de vazão e aumento da vazão crítica; redução da evapotranspiração da percolação no solo e nos aquíferos superficiais e decadência da qualidade das águas superficiais.

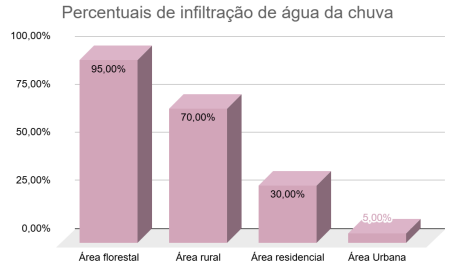
Nesse contexto, a urbanização também é responsável pela alteração da cobertura vegetal do solo, o que provoca efeitos no ciclo hidrológico natural. A impermeabilização é responsável pela menor infiltração da água pluvial no solo, evidenciando uma sobrecarga hídrica que escoa superficialmente (ROSSI e GONÇALVES, 2012). Atualmente, de acordo com o IBGE (2019), ao menos 8 milhões de brasileiros vivem

em áreas com risco de enchentes e deslizamentos de terras, conforme estudo de "População em área de risco no Brasil", realizado em 2010.

Esse problema está vinculado com a infiltração de água da chuva no solo. De acordo com o site AlfaBlock apud interpave (2008), uma área urbana tem somente 5% da água da chuva infiltrada no solo (Figura 01).

Visando a necessidade de adoção de métodos de captação de água pluvial de forma eficiente e sustentável, de acordo com RAMALHO, 2021 apud WOODS-BALLARD et al., 2015, as principais maneiras são: telhados verdes, poços de infiltração, trincheiras de infiltração, bacias de infiltração e pavimentos permeáveis e semipermeáveis.

FIGURA 01 - Percentuais de infiltração de água da chuva



Fonte: elaboração própria adaptado de AlfaBlock apud interpave (2008)

De acordo com MARUYAMA e FRANCO (2016) apud SUZUKI et al. (2014), o pavimento permeável é definido como o permissor da passagem de água da chuva. Além disso, é mencionado que pavimentos permeáveis também são conhecidos como estrutura-reservatório, devido às funções da sub-base: função mecânica e hidráulica. Outra definição conhecida é de que os pavimentos permeáveis são aqueles em que a água pode atravessar por meio de vazios na sua estrutura (ABCP, s/d apud FERGUSON, 2005).

Eles são responsáveis por evitar que ocorra o escoamento superficial, garantindo que grande parte da água das chuvas seja infiltrada através de sua estrutura, para, depois, a água ser transportada para sistemas auxiliares de drenagem ou infiltrada no solo (ABCP, s/d).

Os pavimentos permeáveis podem ser classificados em diferentes tipos.

a) Asfalto poroso

O asfalto poroso é uma mistura asfáltica, fabricado com poucas quantidades de material fino, ligante asfáltico e agregados miúdos, composto principalmente por agregados mais grossos. (MARUYAMA e FRANCO, 2016 apud BERNUCCI et al., 2008). Portanto, o material possui vazios interligados, permitindo que a água da chuva penetre e escoe através da camada. (Figura 02)

De acordo com o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Especificação de Serviço - DER-ES, o índice de vazios do pavimento permeável é entre 18 e 25% (MARUYAMA e FRANCO, 2016 apud BERNUCCI et al., 2008), enquanto para o asfalto comum varia de 3 a 5%. Esse alto índice de vazios garante a rápida percolação da água, o aumento da aderência do pneu com o pavimento e a diminuição de ruído (MARUYAMA e FRANCO, 2016).

FIGURA 02 - Asfalto Poroso



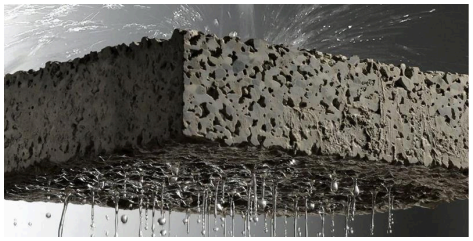
Fonte: USP (s/d)

b) Concreto permeável

O concreto poroso possui baixo teor de mistura de agregados finos do pavimento, permanecendo em torno de 15 a 25%. Por conta desse fator, conforme MARUYAMA e FRANCO (2016) apud ABCP (s/d), esse pavimento é menos resistente que o convencional e sua aparência é bem similar ao asfalto poroso, conforme figura 03.

A maior dificuldade dos projetistas é equilibrar a permeabilidade e a estabilidade do pavimento, pois o alto índice de vazios (responsável pela permeabilidade) diminui a estabilidade do pavimento. (MARUYAMA e FRANCO, 2016).

FIGURA 03 - Concreto permeável



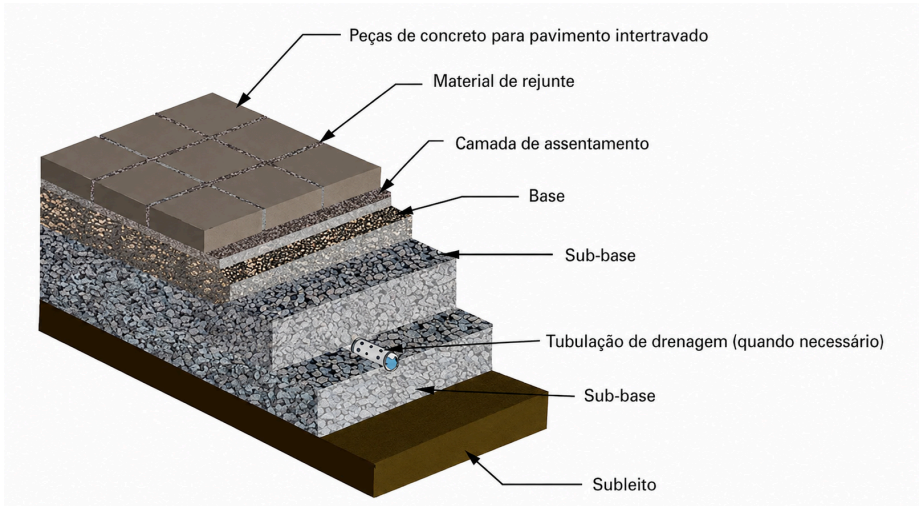
Fonte: *VALEBETON CONCRETO, 2017*

c) Piso intertravado permeável

O concreto intertravado é definido como uma composição de peças de concreto, travadas por contenção lateral e assentado por areia. E o intertravamento é a capacidade dos blocos de resistir ao movimento de deslocamento individual em relação aos que estão ao seu lado. Esse método é fundamental para a durabilidade e o desempenho do pavimento (ABCP, 2010).

Diferentemente dos pavimentos convencionais, o pavimento intertravado precisa de uma estrutura em camadas para a infiltração da água através das juntas, conforme figura 04.

FIGURA 04 - Piso intertravado permeável



Fonte: ABCP (s/d)

Ademais, o piso intertravado permeável pode ser com ou sem vegetação, diferenciando-se pelo preenchimento dos espaços entre as peças. Quando sem vegetação, as juntas são preenchidas com material granular, enquanto no sistema com vegetação os vazios são preenchidos com grama ou cobertura vegetal.

Vale ressaltar que, conforme BLANSKI (2021) apud ARAÚJO et al. (2000), a implantação do pavimento permeável não é possível em todos os locais. Uma de suas condições é a taxa de infiltração do solo ser superior a 7mm/h e que a cota da camada impermeável esteja, no mínimo, a 1,2 metros da base do pavimento. Devido a esses fatores, Blanski justifica a importância da realização do estudo de viabilidade técnica do solo.

A implantação de pavimentos permeáveis exige a utilização de materiais específicos para garantir a filtração da água da chuva. Os materiais e equipamentos variam conforme o modelo do pavimento adotado e as condições do solo. Esse fator influencia diretamente na resistência, duração e permeabilidade do sistema.

a) ASFALTO POROSO: A implantação do asfalto poroso é semelhante com a do asfalto convencional, pois o nível de porosidade é dado pela proporção do ligante e do agregado na mistura à ser empregada (SANTOS et al., 2018). No quadro 02, foram considerados os materiais, mão de obra e equipamentos que possibilitam a execução do revestimento.

QUADRO 02 - Materiais, equipamentos e mão de obra utilizados na implantação do asfalto poroso

ASFALTO POROSO		
MATERIAIS	**EQUIPAMENTOS**	**MÃO DE OBRA**
Agregado graúdo - brita	Caminhão basculante	Auxiliar
Filler mineral	Vibroacabadora	Operador de vibroacabadora
Ligante asfáltico	Rolo vibratório	Operador de rolo vibratório
Manta geotêxtil	Hidrojato	Operador de hidrojato
Emulsão asfáltica	Usina de asfalto	Motorista de caminhão basculante
Contenção lateral	Caminhão espargidor	Motorista de caminhão espargidor
		Engenheiro de obras
		Técnico de segurança
		Topógrafo
		Laboratorista

Fonte: elaboração própria

b) CONCRETO PERMEÁVEL: O quadro 03 apresenta os materiais, equipamentos e mão de obra considerados para a execução de pavimentos de concreto permeável, utilizados para garantir a capacidade de infiltração.

QUADRO 03 - Materiais, equipamentos e mão de obra utilizados na implantação do concreto permeável

CONCRETO PERMEÁVEL		
MATERIAIS	**EQUIPAMENTOS**	**MÃO DE OBRA**
Cimento	Caminhão betoneira	Auxiliar de concretagem
Agregado graúdo	Régua vibratória	Concretador
Aditivo plastificante	Placa vibratória	Operador de régua vibratória
Manta geotêxtil	Rolo compactador leve	Operador de compactador leve
Água	Caminhão basculante	Operador de placa vibratória

CONTINUAÇÃO

CONCRETO PERMEÁVEL		
MATERIAIS	**EQUIPAMENTOS**	**MÃO DE OBRA**
Aditivo modificador de viscosidade		Motorista caminhão basculante
Contenção lateral		Motorista caminhão betoneira
		Engenheiro de pavimentação
		Técnico de segurança
		Topógrafo
		Laboratorista

Fonte: elaboração própria

c) PISO INTERTRAVADO PERMEÁVEL: O quadro 04 relaciona os recursos (materiais, equipamentos e mão de obra) empregados na implantação de pavimentos intertravados permeáveis, incluindo serviços voltados para o assentamento e compactação das peças.

QUADRO 04 - Materiais, equipamentos e mão de obra utilizados na implantação do piso intertravado permeável

PISO INTERTRAVADO PERMEÁVEL		
MATERIAIS	**EQUIPAMENTOS**	**MÃO DE OBRA**
Blocos de concreto permeáveis	Placa vibratória	Calceteiro
Agregado miúdo - areia	Motoniveladora	Assentador de pavimentos
Agregado graúdo - brita	Rolo compactador	Auxiliar de pavimentação
Manta geotêxtil	Régua de nivelamento	Operador de motoniveladora
Contenção lateral	Serra corte para blocos de concreto	Operador de rolo compactador
		Operador de placa vibratória
		Operador de régua vibratória
		Engenheiro de pavimentação
		Técnico de segurança
		Topógrafo
		Laboratorista

Fonte: elaboração própria

d) O quadro 05 apresenta os principais itens considerados na implantação de pavimentos convencionais, englobando materiais, equipamentos e mão de obra.

QUADRO 05 - Materiais, equipamentos e mão de obra utilizados na implantação do pavimento convencional

PAVIMENTO CONVENCIONAL - ASFALTO		
MATERIAIS	**EQUIPAMENTOS**	**MÃO DE OBRA**
Agregado graúdo	Vibroacabadora	Auxiliar de pavimentação

CONTINUAÇÃO

PAVIMENTO CONVENCIONAL - ASFALTO		
MATERIAIS	**EQUIPAMENTOS**	**MÃO DE OBRA**
Agregado miúdo - Areia	Rolo compactador	Operador de vibroacabadora
Filler mineral	Caminhão basculante	Operador de rolo compactador
Ligante asfáltico	Motoniveladora	Operador de motoniveladora
Emulsão asfáltica	Caminhão espargidor	Operador de usina de asfalto
	Usina de asfalto	Motorista de caminhão basculante
		Motorista de caminhão espargidor
		Engenheiro de pavimentação
		Técnico de segurança
		Topógrafo
		Laboratorista

Fonte: elaboração própria

As principais diferenças entre os pavimentos permeáveis e os pavimentos convencionais, considerando aspectos relacionados à drenagem urbana, desempenho estrutural, materiais utilizados e aos aspectos ambientais estão relacionadas no quadro 06.

QUADRO 06 - Diferenças entre pavimentos permeáveis e convencionais

	PAVIMENTOS CONVENCIONAIS	**PAVIMENTOS PERMEÁVEIS**
ESTRUTURA E FUNÇÃO	Evita infiltração no solo e caso ocorra, pode saturar e causar a perda de resistência e estabilidade (Asphalt Pavement Association of Oregon, 2020)	Permite que a água da chuva filtre pelos vazios da superfície, sendo armazenada temporariamente na camada base (California department of transportation, 2023)
MATERIAIS E COMPOSIÇÃO	Misturas de asfalto ou concreto tradicional, compostos de materiais granulares compactos e com pouca permeabilidade (ABCP, 2016)	Podem ser de concreto poroso, asfalto poroso ou concreto intertravado permeável, e a base e sub-base compostas de britas graduadas sem finos (Coutinho, 2017 apud Urbonas e Stahre, 1993)
DURABILIDADE E MANUTENÇÃO	Durabilidade alta quando há manutenção voltada para a integridade superficial (Asphalt Pavement Association of Oregon, 2020)	Variável de acordo com a manutenção, com o tempo ocorre o aumento da sedimentação e diminui a taxa de permeabilidade (Jensen et al., 2015)
ASPECTOS AMBIENTAIS	Agrava o escoamento artificial e a poluição difusa (Scholz e Grabowiecki, 2007)	Resulta na recarga do lençol freático e na redução de ilhas de calor (Moretti et al., 2024)

Fonte: elaboração própria

Com base nas diferenças citadas, é possível identificar diversas qualidades e benefícios do uso de pavimentos permeáveis. Entretanto, ainda existem algumas limitações. O quadro 07 identifica as vantagens e os problemas enfrentados do uso desse método de drenagem sustentável.

QUADRO 07 - Vantagens e limitações do uso de pavimentos permeáveis

VANTAGENS
Recarga dos lençois freáticos (Maruyama e Franco, 2016 apud Connecticut, 2004)
Auxílio na filtragem de poluentes (Maruyama e Franco, 2016 apud Connecticut, 2004)
Auxílio na filtragem de metais pesados (Becker e Pinheiro, 2019)
LIMITAÇÕES
Não é recomendável para tráfego intenso (Maruyama e Franco, 2016 apud Connecticut, 2004)
A base e a sub-base devem ser suficientemente permeável (Maruyama e Franco, 2016 apud Connecticut, 2004)
Necessidade de manutenção constante (Maruyama e Franco, 2016 apud Connecticut, 2004)
Aplicações para pistas com declividade máxima de 5% (Maruyama e Franco, 2016 apud Connecticut, 2004)
Controle de execução, para não entupir os dispositivos (Maruyama e Franco, 2016 apud Connecticut, 2004)
Reabilitação do pavimento em casos de entupimento (Blanski, 2021 apud Pinto, 2011)

Fonte: elaboração própria

Além disso, sua implantação ainda enfrenta alguns desafios. Como: manutenção contínua, limitações estruturais, custo inicial elevado, dependência das características do solo e conscientização dos usuários.

a) ASFALTO POROSO: O asfalto poroso apresenta vazios que permitem sua infiltração, melhorando a drenagem urbana. Porém, podem ser entupidos facilmente, reduzindo a eficiência. Dessa forma, a manutenção preventiva se torna necessária (CMHA, 2020). De acordo com PELLIZZARI (2013) apud SCHUELER (1987), a manutenção preventiva para asfalto poroso tem algumas práticas, como relatado no quadro 08:

QUADRO 08 - Manutenção preventiva e corretiva do asfalto poroso

ASFALTO POROSO		
PRÁTICA	**FREQUÊNCIA**	**EQUIPAMENTOS E MÃO DE OBRA NECESSÁRIO**
Inspeção	Mensal e após grandes chuvas	- Técnico de pavimentação
Varrição simples	Semanal (em locais com árvores) ou quinzenal	- Vassoura industrial - Soprador de folhas - Equipe de manutenção
Aspiração	Trimestral ou semestral - Conforme necessidade	- Aspirador industrial - Transporte para os sedimentos - Equipe de manutenção
Hidrojateamento	Trimestral ou semestral - Conforme necessidade	- Hidrojato - Água - Operador
Teste de infiltração	Semestral ou anual - Conforme necessidade	-Equipamento de teste de infiltração - Equipe de manutenção

Fonte: elaboração própria a partir de dados de PELLIZZARI (2013) apud SCHUELER (1987)

b) CONCRETO PERMEÁVEL: O concreto poroso possui vazios interconectados, permitindo a infiltração da água da chuva e ajudando a reduzir o escoamento superficial. Porém, igual a outros

tipos de pavimentos permeáveis, sua obstrução se torna mais fácil devido a esse fator. Mesmo com a elevada taxa de infiltração, o concreto permeável possui um comportamento estrutural semelhante ao convencional. Ambos têm tendência ao aparecimento de fissuras, perda da resistência mecânica e desagregação superficial. Infelizmente, observa-se uma limitação na literatura quanto à abordagem das técnicas de recuperação estrutural de concretos permeáveis. Entretanto, temos os dados abordados no quadro 09.

QUADRO 09 - Manutenção preventiva e corretiva do concreto permeável

CONCRETO PERMEÁVEL		
PRÁTICA	**FREQUÊNCIA**	**EQUIPAMENTOS E MÃO DE OBRA NECESSÁRIOS**
Inspeção	Mensal e após grandes chuvas	- Técnico de pavimentação
Varrição simples	Semanal (em locais com árvores) ou quinzenal	- Vassoura industrial - Soprador de folhas - Equipe de manutenção
Aspiração	Trimestral ou semestral - Conforme necessidade	- Aspirador industrial - Transporte para os sedimentos - Equipe de manutenção
Hidrojateamento	Trimestral ou semestral - Conforme necessidade	- Hidrojato - Água - Operador
Reposição de agregados	Conforme necessidade	- Brita ou agregado - Compactador manual - Equipe de manutenção
Teste de infiltração	Semestral ou anual - Conforme necessidade	- Equipamento de teste de infiltração - Equipe de manutenção

Fonte: elaboração própria a partir de dados de PELLIZZARI (2013) apud SCHUELER (1987)

c) PISO INTERTRAVADO PERMEÁVEL: Os pavimentos intertravados permeáveis possuem juntas abertas que permitem a infiltração da água da chuva. Consequentemente, ficam suscetíveis a entupimentos por detritos e sedimentos, podendo deteriorar o sistema e causar a perda de sua eficiência (CMHA, 2020). As práticas e a frequência das medidas preventivas ou corretivas a serem tomadas em pisos intertravados permeáveis estão descritas no quadro 10.

QUADRO 10 - Manutenção preventiva e corretiva do piso permeável intertravado permeável

PISO INTERTRAVADO PERMEÁVEL		
PRÁTICA	**FREQUÊNCIA**	**EQUIPAMENTOS E MÃO DE OBRA NECESSÁRIOS**
Inspeção (Stormwater Solutions, 2016)	Mensal e após grandes chuvas	- Técnico de pavimentação
Varrição simples (CMHA, 2020)	Semanal (em locais com árvores) ou quinzenal	- Vassoura industrial - Soprador de folhas - Equipe de manutenção

CONTINUAÇÃO

PISO INTERTRAVADO PERMEÁVEL		
Aspiração	Trimestral ou semestral - Conforme necessidade	- Aspirador industrial - Transporte para os sedimentos - Equipe de manutenção
Reposição de juntas (CMHA, 2020)	Conforme necessidade	- Brita ou agregado - Compactador manual - Equipe de manutenção
Hidrojateamento	Trimestral ou semestral - Conforme necessidade	- Hidrojato - Água - Operador
Teste de infiltração (Stormwater Solutions, 2016)	Semestral ou anual - Conforme necessidade (Stormwater Solutions; 2016)	- Equipamento de teste de infiltração - Equipe de manutenção

Fonte: elaboração própria

d) PAVIMENTO CONVENCIONAL: Os pavimentos asfálticos convencionais, mesmo necessitando de manutenções menos recorrentes se comparados aos permeáveis, ainda assim essa prática é dada como indispensável. Eles sofrem desgaste natural, agravado pelo clima e tráfego. A manutenção preventiva e corretiva para esse tipo de pavimento está descrito no quadro 11.

QUADRO 11 - Manutenção preventiva e corretiva do pavimento convencional

PAVIMENTO CONVENCIONAL - ASFALTO		
PRÁTICA	**FREQUÊNCIA**	**EQUIPAMENTOS E MÃO DE OBRA NECESSÁRIOS**
Inspeção	Mensal e após grandes chuvas	- Técnico de pavimentação
Selagem de trincas (TxDOT, 2023)	Conforme necessidade	- Máquina seladora ou equipe manual - Selante asfáltico - Equipe de manutenção
Remoção de detritos	Mensal ou conforme necessidade	- Vassoura industrial - Equipe de manutenção

Fonte: elaboração própria

A funcionalidade do sistema de pavimentos permeáveis está diretamente ligada com a desobstrução de seus poros. Portanto, a falta de manutenção preventiva em pavimentos permeáveis resulta em perdas rápidas de eficiência, reparos corretivos mais custosos e redução significativa da vida útil do sistema.

A comparação geral entre pavimentos permeáveis e convencionais evidencia que os pavimentos permeáveis, independentemente do tipo, exigem rotinas de manutenção e limpeza mais rigorosas, além da atenção contínua com mão de obra ainda mais especializada e testes de infiltração frequentes, visando garantir o desempenho e eficiência hidráulica; enquanto os pavimentos convencionais apresentam menores chances de falhas prematuras e menos intervenções.

Além disso, em todos os casos as inspeções periódicas são imprescindíveis, já que possibilitam a verificação do coeficiente de permeabilidade e o acompanhamento dos efeitos de manutenções preventivas e corretivas.

O conceito de coeficiente de infiltração é, segundo a Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP (s/d) apud PINTO (2002), uma constante que expressa com que facilidade um fluido escoa através de um meio, além de indicar a velocidade de infiltração de água no solo, sendo um dos principais parâmetros de

desempenho hidráulico. Entretanto, estudos mostram que seu resultado não é preciso, podendo sofrer variações dependendo do material, das condições de instalação e da manutenção preventiva ao longo dos anos.

Fatores como porosidade do material, distribuição e tamanho dos agregados, grau de compactação, colmatação, condição e tipo de solo, espessuras e tipo de camada do pavimento, desgaste por tráfego, rugosidade, inclinação da superfície e tipo de clima são variáveis que influenciam diretamente no coeficiente de permeabilidade.

O principal parâmetro para determinar a eficiência dos pavimentos permeáveis é a taxa de infiltração. No entanto, há estudos experimentais e de campos que comprovam que há uma redução significativa ao longo do tempo, principalmente em função do processo de colmatação, que é o acúmulo de partículas e sedimentos nos poros (KIA et al., 2017).

Estudos experimentais realizados por DANZ et al. (2020) avaliaram diferentes técnicas de manutenção para asfalto poroso, concreto permeável e piso intertravado permeável visando indicar a eficiência de cada processo. O comportamento varia de acordo com o tipo de pavimento, grau de colmatação e o método utilizado, o que gerou valores distintos, conforme tabela 01.

TABELA 01 - Técnicas para a recuperação do coeficiente de infiltração de diferentes modelos de pavimentos permeáveis

RECUPERAÇÃO (DANZ et al., 2020)			
Tipo de pavimento	**Técnica**	**Aumento médio da infiltração**	**Comportamento da eficiência**
Asfalto poroso	Varredora mecânica com sistema de aspiração	16%	Baixa
Asfalto poroso	Ar comprimido + Aspiração	40%	Baixa / moderada
Concreto permeável	Lavadora de alta pressão + aspiração (sucção)	5%	Muito baixa
Concreto permeável	Varredora mecânica com sistema de aspiração	-32%	Ineficiente
Concreto permeável	Lavagem com água sob pressão	92%	Moderada
Concreto permeável	Ar comprimido + Aspiração	169%	Alta
Piso intertravado permeável	Soprador de folhas + vassoura	94%	Moderada
Piso intertravado permeável	Varredora mecânica com sistema de aspiração	535%	Alta
Piso intertravado permeável	Revolvimento manual dos agregados	278%	Alta
Piso intertravado permeável	Lavagem com água sob pressão	172%	Alta
Piso intertravado permeável	Ar comprimido + Aspiração	1703%	Muito alta

Fonte: elaboração própria a partir de dados de DANZ et al., 2020

A determinação do coeficiente de permeabilidade é o caminho para avaliar o desempenho hidráulico dos pavimentos filtrantes (ou permeáveis). Os estudos apresentados abaixo refletem a eficiência desses pavimentos na drenagem das águas pluviais.

a) ASFALTO POROSO:

1. Estudo de JABUR et al. (2015) através do método ASTM C1701

O método ASTM C1701 tem como objetivo determinar a taxa de infiltração da água em pavimentos permeáveis, por meio da simulação da entrada de chuva diretamente na superfície.

O ensaio consiste na instalação de um anel de infiltração sobre a superfície do pavimento, onde é aplicada uma quantidade conhecida de água. Em seguida, mede-se o tempo necessário para que toda a água infiltre através do pavimento. Com os dados de volume aplicado, área do anel e tempo de infiltração, calcula-se a taxa de infiltração, geralmente expressa em mm/h.

O experimento foi realizado nas instalações da IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, centro vinculado à UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde foi construído um módulo experimental, com o objetivo de avaliar a capacidade de infiltração no asfalto poroso.

Desde o início do experimento, foi acordado de que não seria realizado limpeza ou manutenção preventiva no local, visando caracterizar o pavimento em uma condição de negligência. E, para um estudo mais preciso, os testes foram realizados em quatro pontos divergentes. (JABUR et al., 2015)

Os resultados obtidos estão expressos na tabela 02.

TABELA 02 - Resultados do teste de infiltração JABUR et al. (2015)

PAVIMENTO	TEMPO (s)	I (mm/h)	I (m/s)
1	5720	32,0	8,9 . 10^−8
2	2244	81,7	2,30 . 10^−5
3	2650	69,2	1,90 . 10^−5
4	1500	166,7	4,60 . 10^−5
MÉDIA	1,93 . 10^−5 (m/s)		
DESVIO PADRÃO	2,05 . 10^−5 (m/s)		

Fonte: elaboração própria a partir de dados de JABUR et al., 2015

b) CONCRETO PERMEÁVEL:

1. Estudo de Mallman (2017)

O estudo para verificar o escoamento superficial (o que não é infiltrado pelo pavimento) de concreto permeável, realizado por MALLMANN (2017), no Vale do Taquari – RS (Rio Grande do Sul), teve como objetivo avaliar a estrutura e o funcionamento do pavimento em chuvas extremas. (BLANSKI, 2021 apud MALLMANN, 2017).

Todos os testes foram realizados em laboratório, onde o pavimento foi executado em uma caixa metálica impermeabilizada e suportada por barras metálicas com rodas acopladas, além de possuir uma calha coletora a fim de direcionar a água escoada até um reservatório e saídas inferiores, introduzidas para direcionar a água infiltrada para outro reservatório, conforme figura 17 (BLANSKI, 2021 apud MALLMANN, 2017).

Através de um simulador de chuva, o autor realizou quatro testes consecutivos em três tipos de superfície, porém, só iremos analisar os resultados do concreto permeável. (BLANSKI, 2021 apud MALLMANN, 2017). O resultado obtido foi conforme tabela 03.

TABELA 03 - Coeficiente de escoamento para a superfície de concreto permeável de Mallmann (2017)

PAVIMENTO	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO MÉDIO
Concreto permeável	0

Fonte: elaboração própria a partir de dados de BLANSKI (2021) apud MALLMANN (2017)

c) PISO INTERTRAVADO PERMEÁVEL:

1. Estudo de Zunta (2021) através do método de anel único

O método do anel único é um ensaio de campo utilizado para determinar a capacidade de infiltração de água no solo. O procedimento consiste na cravação de um anel metálico na superfície do terreno, no qual é adicionada água e monitorada a variação do nível ao longo do tempo. A partir da taxa de rebaixamento da lâmina d'água, é possível estimar a velocidade com que a água infiltra no solo.

O autor realizou os testes na cidade de Toledo – Paraná, e utilizou o infiltrômetro de anel único e da metodologia da NBR 16.416:2015. O solo do município é argiloso e de alta porosidade (ZUNTA, 2021 apud DE ALMEIDA e PEREIRA, 2019). Para o experimento, foram realizadas amostras de 06 (seis) pontos distintos da cidade.

Os ensaios resultaram nos coeficientes de permeabilidade descritos na tabela 04.

TABELA 04 - Resultado dos coeficientes de permeabilidade pela NBR 16416:2015, através do estudo de Zunta (2021)

PONTOS AMOSTRAIS	MASSA D'ÁGUA (kg)	TEMPO (s)	K (mm/h)
E1	3,604	2659,27	690,63
E2	3,606	7278,95	252,45
E3	3,599	7401,63	247,79
E4	3,603	5071,43	362,04
E5	3,598	5594,42	327,74
E6	3,600	15999,60	114,66

Fonte: elaboração própria a partir de dados obtidos de Zunta, 2021

Os diferentes estudos realizados apresentaram resultados positivos quanto ao desempenho do pavimento permeável. Nos ensaios de infiltração, foram observadas elevadas taxas de absorção de água, demonstrando a capacidade do sistema de promover a infiltração eficiente das águas pluviais e manter suas características hidráulicas ao longo do tempo. Os resultados indicaram ainda boa permeabilidade da estrutura, sem evidências significativas de obstrução dos poros ou comprometimento do funcionamento do pavimento.

O estudo voltado à avaliação do escoamento superficial, verificou-se que o sistema foi capaz de reter e infiltrar integralmente os volumes de água analisados, resultando em escoamento superficial nulo nas condições avaliadas.

Os custos relacionados aos materiais utilizados, equipamentos empregados durante a implantação e a mão de obra necessária para a execução foram levantados a fim de realizar uma análise comparativa entre os sistemas analisados.

A análise de custos foi desenvolvida com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica dos diferentes tipos de pavimentos permeáveis. Para garantir maior confiabilidade aos dados apresentados, foram utilizados como referência valores obtidos em fontes conceituadas do estado de São Paulo, incluindo tabelas de custos, publicações técnicas e orçamentos disponibilizados por empresas de grande porte atuantes no setor da construção civil e pavimentação. Nesse cenário, os valores apresentados já constam os encargos aplicados.

Além disso, os valores foram considerados em real (R$) e em dólar estadunidense (USD), com a finalidade de facilitar a comparação e minimizar as distorções inflacionárias, permitindo uma melhor padronização das análises econômicas. A cotação do dólar utilizada como referência corresponde à data de 15/05/2026, considerando o valor de câmbio de R$ 5,06 para US$ 1,00.

Inicialmente, os custos de implantação de pavimentos permeáveis tendem a ser mais caros devido aos seguintes aspectos: materiais mais específicos e selecionados, além do controle granulométrico mais rigoroso; sistema em camadas mais complexos; execução mais cuidadosa; controle tecnológico maior; manutenção específica; espessura maior, em alguns casos e maior tempo de implantação, portanto, mais gastos de mão de obra, materiais e equipamentos

O tempo de implantação dos pavimentos permeáveis tende a ser maior quando comparado ao dos pavimentos convencionais, pois possui seu sistema mais complexo, com a execução de camadas drenantes. Além disso, precisa de um maior controle tecnológico e de execução.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados permitiram analisar os custos relacionados à utilização de pavimentos permeáveis comparado aos pavimentos convencionais. A partir dos dados levantados, foi possível discutir as diferenças de investimento, manutenção e desempenho entre os sistemas, avaliando suas vantagens, limitações e viabilidade de instalação.

a) ASFALTO POROSO: O asfalto poroso, é caracterizado pela presença de vazios que permitem a passagem da água, reduzindo o acúmulo superficial. No entanto, requer maior controle executivo e manutenção, podendo apresentar custos superiores ao asfalto convencional. Seu custo está distribuído na tabela 07.

TABELA 07 - Custos de implantação de asfalto poroso

ASFALTO POROSO - IMPLANTAÇÃO			
MATERIAIS	**CÓDIGO**	**CUSTO ($)**	**CUSTO (R$)**
Agregado graúdo - brita (m3)	01-004-015	$46,99	R$ 237,75
Filler mineral	-	$3,79	R$ 19,20
Manta geotêxtil (m2)	37.04.68.05	$2,19	R$ 11,07
Emulsão asfáltica (RR-1C - 20 L)	-	$95,95	R$ 485,50
TOTAL MATERIAIS:		**$148,92**	**R$ 753,52**
EQUIPAMENTOS	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/HORA)**	**CUSTO (R$/HORA)**
Caminhão basculante	94010	$66,29	R$ 335,45
Vibroacabadora	94293	$67,45	R$ 341,31
Rolo compactador leve	94272	$13,95	R$ 70,60
Hidrojato	94313	$97,40	R$ 492,83
Usina de asfalto	94310	$325,67	R$ 1.647,91
Caminhão espargidor	94013	$54,80	R$ 277,27
TOTAL EQUIPAMENTOS:		**$625,57**	**R$ 3.165,37**

CONTINUAÇÃO

ASFALTO POROSO - IMPLANTAÇÃO			
MÃO DE OBRA	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/HORA)**	**CUSTO (R$/HORA)**
Auxiliar	2001	$5,16	R$ 26,12
Operador de vibroacabadora	2223	$9,91	R$ 50,13
Operador de rolo vibratório	2216	$7,90	R$ 39,99
Operador de hidrojato	2252	$6,35	R$ 32,11
Motorista de caminhão basculante	2241	$8,03	R$ 40,61
Motorista de caminhão espargidor	2242	$8,84	R$ 44,75
Engenheiro de obras	2254	$35,61	R$ 180,21
Técnico de segurança	-	$4,73	R$ 23,92
Topógrafo	35.03.51	$24,36	R$ 123,25
Laboratorista	35.03.39	$17,75	R$ 89,81
TOTAL MÃO DE OBRA:		**$128,64**	**R$ 502,55**
BASE, SUB-BASE E SUB-LEITO:	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/M3)**	**CUSTO (R$/M3)**
Sub-leito - depende do solo, portanto, vamos desconsiderar nos custos	-	$0,00	R$ 0,00
Sub-base brita grad. simples	23.04.03.01	$78,33	R$ 396,35
Base de macadame seca	23.04.06.03	$72,09	R$ 364,76
TOTAL SUB-BASE E SUB-LEITO:		**$150,42**	**R$ 761,11**

Fonte: elaboração própria através de dados de DER; SIURB; SINDUSCON; LEROY MERLIN; LOJA DO ASFALTO, 2026

b) CONCRETO POROSO: O concreto permeável permite a infiltração da água através de sua estrutura porosa, contribuindo para a redução do escoamento superficial e auxiliando no controle de drenagem urbana. Sua composição apresenta menor quantidade de finos, garantindo a formação de vazios interconectados. Apesar de possuir custo inicial mais elevado em relação aos sistemas convencionais, ele se destaca pelos benefícios ambientais e pela redução da necessidade de sistemas de drenagem complementares. Seu custo está distribuído na tabela 08.

TABELA 08 - Custos de implantação de concreto permeável

CONCRETO PERMEÁVEL - IMPLANTAÇÃO			
MATERIAIS	**CÓDIGO**	**CUSTO ($)**	**CUSTO (R$)**
Concreto FCK 18 MPA (m3)	24.07.03	$159,73	R$ 822,62
Agregado graúdo (m3)	01-004-015	$46,17	R$ 237,75
Aditivo plastificante (kg)	27.13.02	$3,63	R$ 18,67
Manta geotêxtil (m2)	37.04.68.05	$2,15	R$ 11,07
Aditivo modificador de viscosidade		$39,56	R$ 203,71
TOTAL MATERIAIS:		**$251,23**	**R$ 1.293,82**

CONTINUAÇÃO

CONCRETO PERMEÁVEL - IMPLANTAÇÃO			
EQUIPAMENTOS	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/HORA)**	**CUSTO (R$/HORA)**
Betoneira	94001	$0,68	R$ 3,48
Régua vibratória	94271	$6,74	R$ 34,73
Placa vibratória	94221	$9,06	R$ 46,64
Rolo compactador leve	94272	$13,71	R$ 70,60
Caminhão basculante	94010	$65,14	R$ 335,45
TOTAL EQUIPAMENTOS:		**$95,32**	**R$ 490,90**
CONCRETO PERMEÁVEL - IMPLANTAÇÃO			
MÃO DE OBRA	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/HORA)**	**CUSTO (R$/HORA)**
Auxiliar de concretagem	2001	$5,07	R$ 26,12
Operador de régua vibratória	2246	$6,05	R$ 31,16
Operador de rolo vibratório	2216	$7,77	R$ 39,99
Operador de placa vibratória	2246	$6,05	R$ 31,16
Motorista caminhão basculante	2241	$7,89	R$ 40,61
Engenheiro de obras	2254	$34,99	R$ 180,21
CONCRETO PERMEÁVEL - IMPLANTAÇÃO			
MÃO DE OBRA	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/HORA)**	**CUSTO (R$/HORA)**
Técnico de segurança		$4,64	R$ 23,92
Topógrafo	35.03.51	$23,93	R$ 123,25
Laboratorista	35.03.39	$17,44	R$ 89,81
TOTAL MÃO DE OBRA:		**$113,83**	**R$ 399,15**
BASE, SUB-BASE E SUB-LEITO:	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/M3)**	**CUSTO (R$/M3)**
Sub-leito - depende do solo, portanto, vamos desconsiderar nos custos	-	$0,00	R$ 0,00
Sub-base brita grad. simples	23.04.03.01	$76,96	R$ 396,35
Base de macadame seca	23.04.06.03	$70,83	R$ 364,76
TOTAL SUB-BASE E SUB-LEITO:		**$147,79**	**R$ 761,11**

Fonte: elaboração própria através de dados de DER; SIURB; SINDUSCON; AMAZON, 2026

c) PAVIMENTO INTERTRAVADO PERMEÁVEL: O pavimento intertravado permeável é composto por peças pré-moldadas com espaçamentos que permitem a infiltração da água, associadas a camadas granulares drenantes. Embora o custo inicial possa ser mais elevado, sua flexibilidade e desempenho hidráulico o tornam uma alternativa eficiente para áreas urbanas. Seu custo está distribuído na tabela 09.

TABELA 09 - Custos de implantação de piso intertravado permeável

CONCRETO INTERTRAVADO PERMEÁVEL - IMPLANTAÇÃO			
MATERIAIS	**CÓDIGO**	**CUSTO ($)**	**CUSTO (R$)**
Blocos de concreto permeáveis E = 8cm (m2)	23.12.02	$30,00	R$ 154,50
Agregado miúdo (20kg)	-	$1,17	R$ 6,02
Agregado graúdo (m3)	01-004-015	$46,17	R$ 237,75
Manta geotêxtil (m2)	37.04.68.05	$2,15	R$ 11,07
TOTAL MATERIAIS:		**$79,48**	**R$ 409,34**
EQUIPAMENTOS	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/HORA)**	**CUSTO (R$/HORA)**
Placa vibratória	94221	$9,06	R$ 46,64
Motoniveladora	72.37.01.02	$44,61	R$ 229,73
Rolo compactador leve	94272	$13,71	R$ 70,60
Régua niveladora	94271	$6,74	R$ 34,73
Serra para pavimento	72.56.01.02	$0,70	R$ 3,59
TOTAL EQUIPAMENTOS:		**$74,81**	**R$ 385,29**
MÃO DE OBRA	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/HORA)**	**CUSTO (R$/HORA)**
Calceteiro	2062	$6,37	R$ 32,81
Auxiliar de pavimentação	2001	$5,07	R$ 26,12
Operador de motoniveladora	2213	$9,10	R$ 46,84
Operador de rolo compactador	2216	$7,77	R$ 39,99
Operador de placa vibratória	2246	$6,05	R$ 31,16
Operador de régua vibratória	2246	$6,05	R$ 31,16
Engenheiro de obras	2254	$34,99	R$ 180,21
Técnico de segurança	-	$4,64	R$ 23,92
Topógrafo	35.03.51	$23,93	R$ 123,25
Laboratorista	35.03.39	$17,44	R$ 89,81
TOTAL MÃO DE OBRA:		**$121,41**	**R$ 236,98**
BASE, SUB-BASE E SUB-LEITO:	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/M3)**	**CUSTO (R$/M3)**
Sub-leito - depende do solo, portanto, vamos desconsiderar nos custos	-	$0,00	R$ 0,00
Sub-base brita grad. simples	23.04.03.01	$76,96	R$ 396,35
Base de macadame seca	23.04.06.03	$70,83	R$ 364,76
TOTAL SUB-BASE E SUB-LEITO:		**$147,79**	**R$ 761,11**

Fonte: elaboração própria a partir de DER; SIURB; SINDUSCON; LEROY MERLIN, 2026

d) PAVIMENTO CONVENCIONAL (ASFALTO): O asfalto convencional é amplamente utilizado devido ao seu menor custo inicial e à facilidade de execução. No entanto, trata-se de um pavimento impermeável, que não permite a infiltração da água, contribuindo para o aumento do escoamento superficial e sobrecarga dos sistemas de drenagem. Apesar disso, ainda é a solução mais adotada em

função da sua viabilidade econômica e simplicidade construtiva. Seu custo está distribuído na tabela 10.

FIGURA 10 - Custos de implantação de pavimentos convencionais

ASFALTO CONVENCIONAL - IMPLANTAÇÃO			
MATERIAIS	**CÓDIGO**	**CUSTO ($)**	**CUSTO (R$)**
Agregado graúdo - brita (m3)	01-004-015	$46,17	R$ 237,75
Agregado miúdo	-	$0,97	R$ 4,99
Filler mineral	-	$3,73	R$ 19,20
Emulsão asfáltica (RR-1C - 20 L)	-	$95,95	R$ 485,50
TOTAL MATERIAIS:		**$146,81**	**R$ 747,44**
EQUIPAMENTOS	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/HORA)**	**CUSTO (R$/HORA)**
Vibroacabadora	94293	$66,27	R$ 341,31
Rolo compactador pesado	94273	$60,80	R$ 313,12
Caminhão basculante	94010	$65,14	R$ 335,45
Motoniveladora	72.37.01.02	$44,61	R$ 229,73
Caminhão espargidor	94310	$319,98	R$ 1.647,91
Usina de asfalto	94013	$53,84	R$ 277,27
TOTAL EQUIPAMENTOS:		**$556,80**	**R$ 2.867,52**
MÃO DE OBRA	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/HORA)**	**CUSTO (R$/HORA)**
Auxiliar de pavimentação	2001	$5,07	R$ 26,12
Operador de motoniveladora	2213	$9,10	R$ 46,84
Operador de rolo compactador	2216	$7,77	R$ 39,99
Operador de placa vibratória	2246	$6,05	R$ 31,16
Operador de régua vibratória	2246	$6,05	R$ 31,16
Motorista de caminhão basculante	2241	$7,89	R$ 40,61
Motorista de caminhão espargidor	2242	$8,69	R$ 44,75
Engenheiro de obras	2254	$34,99	R$ 180,21
Técnico de segurança		$4,64	R$ 23,92
Topógrafo	35.03.51	$23,93	R$ 123,25
Laboratorista	35.03.39	$17,44	R$ 89,81
TOTAL MÃO DE OBRA:		**$1.232,78**	**R$ 236,98**
BASE, SUB-BASE E SUB-LEITO:	**CÓDIGO**	**CUSTO ($/M3)**	**CUSTO (R$/M3)**
Sub-leito - depende do solo, portanto, vamos desconsiderar nos custos	-	$0,00	R$ 0,00
Sub-base ou base brita grad. simples	23.04.03.01	$76,96	R$ 396,35
TOTAL SUB-BASE E SUB-LEITO:		**$76,96**	**R$ 396,35**

Fonte: elaboração própria a partir de DER; SIURB; SINDUSCON; LEROY MERLIN; LOJA DO ASFALTO, 2026

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos custos de implantação dos diferentes tipos de pavimentação demonstrou valores relativamente semelhantes e próximos entre si. No entanto, os pavimentos permeáveis tendem a apresentar custos mais elevados desde as fases iniciais, incluindo estudos mais complexos e detalhados, como análises de infiltração do solo, dimensionamento hidráulico e definição adequada das camadas drenantes. Além disso, esses sistemas frequentemente demandam o uso de tecnologias específicas e materiais mais controlados, como aditivos, ligantes modificados e elementos pré-moldados, o que contribui para o aumento do custo inicial.

O tempo de execução são outros aspectos que devem ser levados em consideração, pois além de estudos anteriores à execução, exige um maior cuidado e controle durante a implantação para garantir a porosidade e o desempenho hidráulico do pavimento. Esses fatores demandam acompanhamento técnico constante, mão de obra qualificada e inspeções frequentes.

Logo, embora os custos de implantação tenham se mostrado semelhantes, a escolha do tipo de pavimento deve considerar não apenas o investimento inicial, mas também o desempenho hidráulico, tempo de execução, necessidade de mão de obra especializada, frequência de manutenção e impactos ambientais ao longo de sua vida útil.

CONCLUSÃO

Com a intensificação da impermeabilização do solo, o agravamento de problemas relacionados à drenagem urbana é consequência, dentre eles o escoamento superficial, enchentes e alagamentos, sobrecarga dos sistemas de drenagem e redução da infiltração de águas pluviais no solo. Diante desse contexto, as alternativas se voltam para a drenagem sustentável, e dentre elas, o pavimento permeável. O mesmo demonstra potencial no auxílio do gerenciamento de águas pluviais e na minimização dos impactos ambientais.

Sob essa perspectiva, após a análise realizada, verificou-se que os sistemas permeáveis (asfalto poroso, concreto permeável e piso intertravado permeável) apresentam vantagens significativas comparadas ao pavimento convencional, seja relacionado ao desempenho hidráulico ou em resultados positivos para o meio ambiente, como redução de custos com macrodrenagem, redução do escoamento superficial, recarga do lençol freático e diminuição dos impactos causados pela impermeabilidade excessiva do solo.

Ao realizarmos a análise do custo de implantação, foi possível observar que o investimento inicial dos pavimentos permeáveis, quando englobado desde o estudo e preparo do solo natural até a aplicação do revestimento, é superior ao do pavimento convencional. Ademais, os custos vinculados à manutenção também são superiores.

Apesar dos inúmeros benefícios identificados, o uso desses pavimentos ainda enfrentam grandes limitações relacionadas a necessidade de manutenções periódicas, resistência por parte da população, necessidade de mão de obra qualificada, controle executivo intenso e custo inicial elevado.

Portanto, os pavimentos permeáveis representam uma alternativa viável e ambientalmente favorável, especialmente em locais sujeitos a problemas de drenagem, além de apresentar potencial financeiro, tendo em vista que ainda que apresentem desafios relacionados aos custos de implantação e manutenção do sistema, há o retorno com a economia de sistemas de macrodrenagem que possuem valores expressivamente elevados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Conceitos e requisitos para pavimentos intertravado permeável. s.l., s.d.

2. ABCP - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. Manual de pavimento intertravado. São Paulo, fev. 2010.

3. BECKER, N., PINHEIRO, I.G. Potencialidade dos pavimentos permeáveis na melhoria da qualidade da água do escoamento superficial: uma revisão. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v.11, e20180009, 2019.

4. BLANSKI, M. Revisão sistemática de modelos experimentais para pesquisa em pavimentos permeáveis. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Guarapuava, 2021.

5. COUTINHO, A.P., MELO, T.A.T., DE ALCÂNTARA, L.R.P., RABELO, A.E.C.G.C., DOS SANTOS NETO, S.M., ANTONINO, A.C.D. Caracterização hidráulica das camadas de um pavimento permeável. Águas Subterrâneas, v.34, n.2, p.191-203, 2020.

6. COUTINHO, A.P. Pavimento permeável como técnica compensatória na drenagem urbana da cidade do Recife. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

7. DANZ, M.E., SELBIG, W.R., BUER, N.H. Assessment of restorative maintenance practices on the infiltration capacity of permeable pavement. Water, v.12, n.6, p.1563, 2020.

8. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estudo inédito mostra moradores sujeitos a enchentes e deslizamentos. Agência de Notícias IBGE, 28 jun. 2018.

9. JABUR, A.S., DORNELLES, F., SILVEIRA, A., GOLDENFUM, J.A., CARDOSO, A., OKAWA, C.M.P. Avaliação de pavimentos permeáveis com o uso da norma ASTM C1701. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013.

10. JABUR, A.S., DORNELLES, F., SILVEIRA, A.L.L., GOLDENFUM, J.A., OKAWA, C.M.P., GASPARINI, R.R. Determinação da capacidade de infiltração de pavimentos permeáveis. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.20, n.4, p.937-945, 2015.

11. MARUYAMA, C.M., FRANCO, M.A.R. Pavimentos permeáveis e infraestrutura verde. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, v.4, n.9, 2016.

12. MELLO, F.B.G., RIGO, D. Comparativo de custos de implantação de pavimento convencional e pavimento permeável. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v.4, p.5-25, abr. 2023.

13. MORETTI, L., CANTISANI, G., CARPICECI, M., D'ANDREA, A., DEL SERRONE, G., DI MASCIO, P., LOPRENCIPE, G. Effect of Sampietrini pavers on urban heat islands. International Journal of Environmental Research and Public Health, v.18, n.24, p.13108, 2021.

14. PELLIZZARI, V. Avaliação da eficácia na restauração da capacidade de infiltração de pavimento poroso. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

15. SCHOLZ, M., GRABOWIECKI, P. Review of permeable pavement systems. Building and Environment, v.42, n.11, p.3830-3836, 2006.

16. TUCCI, C.E.M. Águas urbanas. Estudos Avançados, v.22, n.63, p.97-112, 2008.

17. TUCCI, C.E.M. Drenagem urbana. Ciência e Cultura, v.55, n.4, p.20-25, out./dez. 2003.

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

19. ZUNTA, G.S. Avaliação da capacidade de infiltração de pavimentos de concreto intertravados. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2021.