

CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA

CURSO DE GRADUAÇÃO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

DARALICE RODRIGUES BARBOSA

EDLAYNE JÉSSICA SANTOS DE FREITAS

WELLINGTON GENUÍNO DOURADO FILHO

**PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: SUSTENTABILIDADE E SOLUÇÃO PARA
DESAFIOS URBANOS NA CIDADE DO RECIFE**

RECIFE/2023

DARALICE RODRIGUES BARBOSA

EDLAYNE JÉSSICA SANTOS DE FREITAS

WELLINGTON GENUÍNO DOURADO FILHO

**PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: SUSTENTABILIDADE E SOLUÇÃO PARA
DESAFIOS URBANOS NA CIDADE DO RECIFE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA,
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharelado em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Dr. Janilson Alves
Ferreira

RECIFE/2023

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 2338/ O.

B238p Barbosa, Daralice Rodrigues.
 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: sustentabilidade e solução para desafios
urbanos na cidade do Recife/ Daralice Rodrigues Barbosa; Edlayne Jéssica
Santos de Freitas; Wellington Genuíno Dourado Filho. - Recife: O Autor,
2023.

19 p.

Orientador(a): Dr. Janilson Alves Ferreira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário
Brasileiro - UNIBRA. Bacharelado em Engenharia Civil, 2023.

Inclui Referências.

1. Pavimentos permeáveis. 2. Drenagem urbana. 3. infiltração. 4.
Concreto asfáltico poroso. 5. Enchentes. I. Freitas, Edlayne Jéssica
Santos de. II. Dourado Filho, Wellington Genuíno. III. Centro Universitário
Brasileiro. - UNIBRA. IV. Título.

CDU: 624

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, expressamos nossa sincera gratidão a Deus, cuja permissão e orientação foram preponderantes não apenas durante nossa jornada acadêmica, mas ao longo de toda a trajetória de nossas vidas. Reconhecemos Sua influência como o supremo guia, transcendendo os anos dedicados à formação universitária.

Estendemos nossos agradecimentos aos dedicados professores que, com notável empenho, desempenharam um papel fundamental na nossa formação acadêmica, compartilhando seus conhecimentos e incentivando nosso desenvolvimento intelectual.

Nossos mais profundos agradecimentos também se dirigem às nossas famílias, parentes e amigos, cujo apoio constante e estímulo foram fatores determinantes para o êxito na conclusão de nosso curso e o início de nossas carreiras. A todos que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para nossa formação acadêmica, expressamos nossa mais sincera gratidão.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1. PROBLEMATIZAÇÃO.....	8
2. OBJETIVOS	9
2.1. OBJETIVO GERAL.....	9
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
2.3. JUSTIFICATIVA.....	9
3. REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS.....	10
3.1.1. Pavimento de Concreto Poroso.....	13
3.1.2. Concreto Asfáltico Poroso.....	14
3.1.3. Blocos de Concreto Vazados.....	16
3.1.4. Pavimento em Blocos de Concreto Intertravados.....	17
3.2. IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA NO RECIFE.....	18
4. METODOLOGIA	20
4.1. TIPO DE PESQUISA.....	20
4.2. COLETA DE DADOS.....	20
4.2.1. Levantamento de dados climáticos.....	20
4.2.2. Análise de dados do SNIS.....	20
4.3. ANÁLISE CRÍTICA DA LITERATURA.....	21
4.4. ANÁLISE DE MATERIAIS.....	21
4.5. COMPARAÇÃO DE TECNOLOGIAS.....	21
5. RESULTADOS	21
6. CONCLUSÃO	23
REFERÊNCIAS	25

PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: SUSTENTABILIDADE E SOLUÇÃO PARA DESAFIOS URBANOS NA CIDADE DO RECIFE

Daralice Rodrigues Barbosa

Edlayne Jéssica Santos de Freitas

Wellington Genuíno Dourado Filho

RESUMO

O constante crescimento das cidades tem diversos impactos, tanto na sociedade quanto no meio ambiente. Quando áreas permeáveis são transformadas em grandes superfícies de concreto, a água não consegue mais se infiltrar no solo. Isso resulta em um aumento do escoamento superficial, que, combinado com sistemas de drenagem insuficientes, causa problemas como enchentes e alagamentos. Além disso, o ciclo hidrológico da água é alterado, impedindo que os aquíferos sejam recarregados adequadamente. Uma solução eficiente para reduzir o escoamento superficial e prevenir enchentes é o uso de pavimentos permeáveis, que permitem a infiltração da água. Esta pesquisa tem como objetivo estudar as principais características desses pavimentos, apresentando também os critérios de projeto e execução, bem como as vantagens e desvantagens associadas a eles. Para realizar este estudo foram consultados artigos científicos recentes, livros e trabalhos acadêmicos para obter um melhor entendimento sobre o assunto. Conclui-se que a utilização dos pavimentos permeáveis nas áreas urbanas traz inúmeros benefícios, destacando-se a redução do escoamento superficial e consequentemente a prevenção de enchentes e os problemas causados por elas.

Palavras-chave: Pavimentos permeáveis; Drenagem urbana; infiltração; concreto asfáltico poroso; enchentes.

PAVIMENTOS PERMEÁVEIS: SUSTENTABILIDADE E SOLUÇÃO PARA DESAFIOS URBANOS NA CIDADE DO RECIFE

Daralice Rodrigues Barbosa

Edlayne Jéssica Santos de Freitas

Wellington Genuíno Dourado Filho

ABSTRACT

The constant growth of cities has various impacts on both society and the environment. When permeable areas are transformed into vast concrete surfaces, water can no longer infiltrate the soil. This results in an increase in surface runoff, which, when combined with insufficient drainage systems, leads to issues such as floods and inundations. Additionally, the water hydrological cycle is altered, preventing aquifers from being adequately recharged. An efficient solution to reduce surface runoff and prevent floods is the use of permeable pavements, which allow water infiltration. This research aims to study the main characteristics of these pavements, presenting design and implementation criteria, as well as the associated advantages and disadvantages. To conduct this study, recent scientific articles, books, and academic papers were consulted to gain a better understanding of the subject. It is concluded that the use of permeable pavements in urban areas brings numerous benefits, with a significant reduction in surface runoff and, consequently, the prevention of floods and the problems caused by them.

Keywords: Permeable pavements; Urban drainage; Infiltration; Porous asphalt concrete; Floods.

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o rápido crescimento das áreas urbanas no Brasil trouxe consigo uma série de desafios significativos relacionados à infraestrutura urbana, sustentabilidade ambiental e qualidade de vida nas cidades. Entre esses desafios, destaca-se a crescente impermeabilização do solo, resultante do desenvolvimento urbano desordenado. Esse fenômeno contribui diretamente para a ocorrência de enchentes, degradação da qualidade da água e amplificação da vulnerabilidade das áreas urbanas aos impactos das mudanças climáticas (Pereira et al., 2018).

O Recife, localizado na costa nordeste do Brasil, enfrenta desafios climáticos específicos, com a frequência de chuvas intensas. Nos últimos 10 anos, a cidade tem testemunhado um aumento alarmante no número de alagamentos, registrando um aumento médio de aproximadamente 15% anualmente, de acordo com dados da Defesa Civil Municipal. Esse aumento reflete a crescente vulnerabilidade das áreas urbanas a eventos climáticos extremos e as limitações dos sistemas de drenagem convencionais.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 67,8% da população do Recife é atendida com drenagem de águas pluviais, uma proporção significativamente maior do que a média de apenas 12,24% no estado e 25,96% no país. No entanto, mesmo com esse atendimento relativamente maior, persistem desafios significativos na cidade. Aproximadamente 13% dos domicílios do município estão sujeitos à inundação, destacando a necessidade de medidas eficazes de controle de água. Felizmente, o município adotou ações proativas, como o mapeamento de áreas de risco e a implementação de sistemas de alerta para riscos hidrológicos, buscando minimizar os impactos negativos das chuvas intensas e enchentes.

A impermeabilização do solo e seus efeitos prejudiciais têm chamado a atenção de urbanistas, engenheiros e ambientalistas, destacando a necessidade urgente de soluções para enfrentar essas problemáticas. Nesse contexto, os pavimentos permeáveis surgem como uma solução inovadora e com o potencial de abordar essas questões de forma sustentável.

Os pavimentos permeáveis são estruturas construídas com materiais que permitem a infiltração de água da chuva no solo, reduzindo assim a sobrecarga dos sistemas de drenagem pluvial convencionais (Cavalcante et al., 2019). Além disso, eles têm demonstrado a capacidade de melhorar a qualidade da água, reduzir o escoamento superficial de água contaminada e proporcionar benefícios significativos em termos de resfriamento urbano e conforto térmico (Melo et al., 2020).

Este trabalho tem como objetivo investigar a aplicação dos pavimentos permeáveis como uma resposta eficaz aos desafios urbanos enfrentados pela cidade do Recife. A pesquisa abordará os princípios de sustentabilidade subjacentes a essa tecnologia, os materiais e técnicas de construção disponíveis, bem como os métodos de avaliação de desempenho em contextos específicos da cidade. Além disso, serão apresentados casos práticos que ilustram a viabilidade e os benefícios da implementação de pavimentos permeáveis em áreas urbanas da região metropolitana do Recife.

Ao examinar essas questões, este estudo busca contribuir para uma compreensão mais ampla da importância dos pavimentos permeáveis como uma ferramenta eficaz para promover a sustentabilidade ambiental e mitigar os desafios crescentes das áreas urbanas do Recife. Além disso, espera-se que este trabalho forneça informações práticas que possam ser usadas por profissionais e autoridades municipais na busca por soluções sustentáveis para enfrentar os desafios relacionados aos alagamentos e inundações na cidade.

1.1. PROBLEMATIZAÇÃO

Como os pavimentos permeáveis podem ser eficazmente implementados no contexto específico do Recife para enfrentar os desafios de impermeabilização do solo, enchentes, degradação da qualidade da água e alagamentos, levando em consideração as particularidades climáticas e geográficas da cidade, e de que forma essas soluções sustentáveis podem contribuir para a promoção da qualidade de vida urbana e da sustentabilidade ambiental.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Investigar a viabilidade e a eficácia da aplicação de pavimentos permeáveis como uma possível solução sustentável para enfrentar os desafios urbanos relacionados à drenagem pluvial e alagamentos na cidade do Recife.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a literatura científica sobre pavimentos permeáveis, abordando conceitos, princípios de funcionamento e suas vantagens e desvantagens, e adaptar essas informações ao contexto do Recife.
- Avaliar os desafios urbanos específicos enfrentados pela cidade do Recife em relação à drenagem pluvial e alagamentos, considerando as condições climáticas locais e o rápido crescimento urbano.
- Investigar o papel da sustentabilidade e dos princípios sustentáveis na mitigação dos problemas de drenagem e alagamentos na cidade.
- Examinar as tecnologias e materiais disponíveis para a construção de pavimentos permeáveis, levando em consideração as necessidades e características locais do Recife.

2.3. JUSTIFICATIVA

A pesquisa sobre pavimentos permeáveis é fundamental para enfrentar os desafios urbanos relacionados à drenagem pluvial e alagamentos na cidade do Recife. Com o rápido crescimento urbano, a impermeabilização do solo resultou em enchentes, degradação da qualidade da água e vulnerabilidade às mudanças climáticas. A cidade enfrenta problemas significativos de alagamento, apesar de uma proporção relativamente alta da população atendida com drenagem de águas pluviais.

Os pavimentos permeáveis surgem como uma solução inovadora e sustentável para mitigar esses desafios. Este estudo é importante para avaliar sua viabilidade, adaptando os princípios de sustentabilidade à realidade do Recife, analisando materiais e tecnologias específicas da região e apresentando casos práticos. A

pesquisa fornecerá informações práticas para profissionais e autoridades locais, contribuindo para a promoção da sustentabilidade ambiental e a redução dos impactos de alagamentos na cidade.

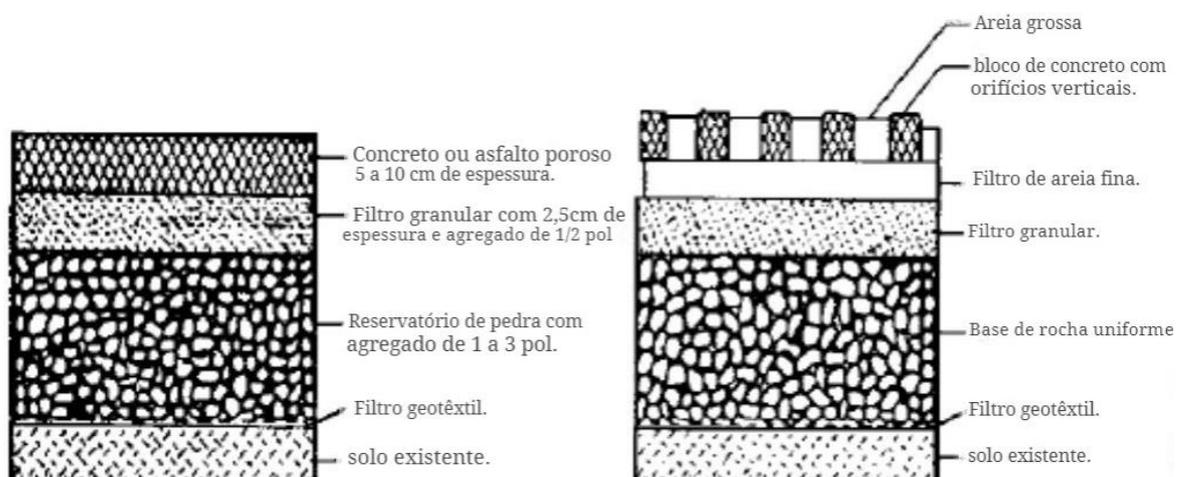
3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Entende-se por pavimento permeável um dispositivo que possibilita a infiltração, onde o escoamento das águas pluviais é conduzido, através de uma superfície permeável, a um reservatório de pedras localizado abaixo da superfície do terreno (Urbonas e Stahre, 1993). Segundo Araújo (2000) os pavimentos permeáveis são constituídos por uma camada de agregado fino ou médio e outra sob esta de agregado graúdo mais a camada superior do pavimento permeável.

Conforme a Figura 1 abaixo, o escoamento superficial infiltra no revestimento poroso, com espessura variando de 5 a 10 cm, passa por uma camada de agregado fino ou médio, de 1,25 cm de diâmetro e espessura de 2,5 cm, e é conduzido ao reservatório de pedras, com agregados de 3,8 a 7,6 cm de diâmetro e espessura mínima de 15 cm. Estando neste reservatório a água poderá ser infiltrada ou coletada por tubos de drenagem. (Araújo, 2000 p.21).

Figura 1 - Pavimentos permeáveis



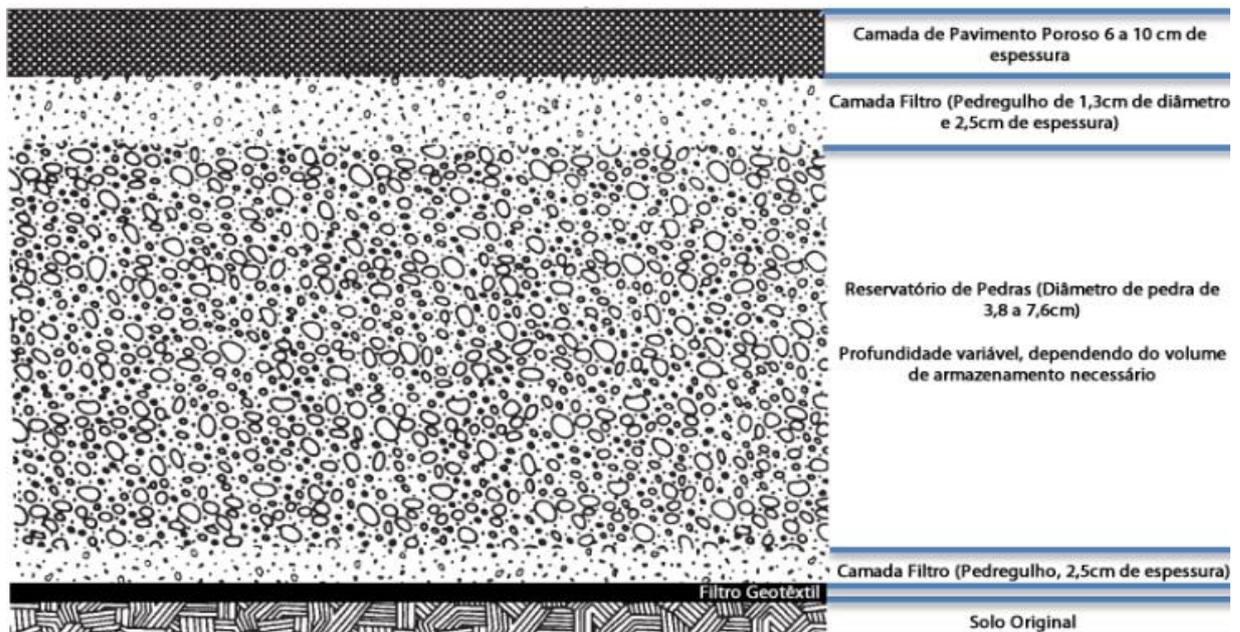
Fonte: Urbonas e Stahre, 1993

Devido à baixa resistência do pavimento poroso, o mesmo não pode ser utilizado em pistas de rolamento de veículos. Nesse sentido, Gonçalves et al. (2014) recomendam sua utilização em espaços específicos, tais como vias de tráfego leve, estacionamentos, calçadas, praças e quadras de esporte.

O pavimento permeável se divide em seis camadas, ilustradas na figura 2, e ele as define da seguinte maneira:

1. Pavimento Poroso: Camada com espessura de 6 a 10 cm, formada por um revestimento permeável cuja principal função é a infiltração das águas pluviais e a condução destas ao reservatório de pedras.
2. Camada de Filtro: Camada com cerca de 2,5 cm de espessura, composta por agregados com 1,3 cm de diâmetro. O escoamento, ao se infiltrar na camada de revestimento poroso, passa por este filtro de agregado graúdo. Esta camada tem como objetivo estabilizar a camada do pavimento.
3. Reservatório de Pedras: Camada com agregados graúdos, que possuem de 3,8 a 7,6 cm de diâmetro, e sua espessura depende do volume de água que se deseja armazenar. A capacidade de armazenamento de água no reservatório de pedra está ligada diretamente à profundidade deste. O escoamento resultante da camada de filtro penetra no reservatório de pedras, onde o mesmo poderá infiltrar para o subsolo ou ser coletado por tubos de drenagem quando o solo for impermeável.
4. Camada de Filtro: Camada com espessura de aproximadamente 2,5 cm, cuja finalidade principal é promover a ligação do reservatório de pedras com o filtro geotêxtil.
5. Filtro Geotêxtil: A finalidade do filtro geotêxtil é impedir que partículas do solo penetrem no reservatório de pedras, ocasionando o entupimento dos poros e impedindo a passagem da água.
6. Solo Original: É a camada de solo sobre a qual as demais camadas serão construídas. É necessário que este solo tenha uma boa condutibilidade hidráulica para que a água do reservatório de pedras possa ser completamente infiltrada. Segundo Urbonas e Stahre (1993), é importante que o nível do lençol freático esteja a pelo menos 1,20m de distância da base do pavimento.

Figura 2 - Estrutura do Pavimento Permeável



Fonte: Adaptado de Schueler, 1987

Segundo Urbonas e Stahre (1993), os pavimentos permeáveis estão classificados em quatro tipos:

- Pavimento de concreto poroso;
- Pavimento de asfalto poroso;
- Pavimento de blocos de concreto vazado, preenchidos com areia ou vegetação rasteira.
- Pavimento em blocos de concreto intertravados

Estes dois primeiros, concreto poroso e asfalto poroso, são preparados similarmente ao concreto e asfalto tradicionais. A única diferença entre eles é que o concreto poroso e o asfalto poroso não utilizam agregados finos (areia) em sua composição, o que permite a esses materiais ter a porosidade necessária para a infiltração das águas pluviais.

Conforme Yang e Jiang (2003), o concreto poroso possui baixa resistência, atingindo na maioria das vezes valores de resistência à compressão entre 20 e 30 MPa. Por esse motivo, esse sistema é indicado apenas para locais onde há baixa solicitação de carregamento, ou seja, locais submetidos a baixas tensões, como, por

exemplo, quadras, passeios, calçadas e estacionamentos. Pesquisadores têm buscado aumentar a resistência à compressão, tração e cisalhamento por meio do uso de agregados selecionados, adições de minerais finos e intensificadores orgânicos. Em seus experimentos, já houve certo progresso, alcançando valores de resistência à compressão de 50 MPa e resistência à tração de 6 MPa.

3.1.1 Pavimento de Concreto Poroso

Conforme Mazzonetto (2012), o concreto permeável, também conhecido como concreto poroso, apresenta a capacidade de permitir a infiltração da água das chuvas, possibilitando que esta seja armazenada nas camadas mais profundas. Essa água pode ser direcionada para o lençol freático através do subleito, ou conduzida ao sistema de drenagem da cidade. No Brasil, essa tecnologia é adotada de forma limitada, no entanto, vem gradualmente ganhando aceitação entre os construtores. Esse interesse crescente está relacionado à necessidade de cumprir regulamentações municipais que exigem a destinação de parte do terreno como área permeável. Isso resulta em espaços preparados para receber as precipitações, contribuindo para a prevenção de enchentes e o recarregamento do aquífero subterrâneo.

Segundo Virgiliis (2009), o concreto poroso é adequado para resistir a cargas de tráfego leves, como aquelas encontradas em calçadas e áreas de manobra de estacionamentos residenciais. Além disso, ele pode suportar cargas de tráfego moderadas em estacionamentos comerciais e ruas residenciais. Sob condições específicas de dimensionamento, é possível que o concreto poroso seja capaz de suportar cargas de tráfego pesado. Após a conclusão, o concreto poroso exibe uma notável permeabilidade. No entanto, como desvantagem, existe a constante possibilidade de obstrução, requerendo gastos regulares com manutenção e limpeza.

Na Figura 3, podemos observar uma representação do concreto poroso que apresenta um volume de vazios significativo quando comparado ao concreto convencional. De acordo com Ferguson B.K. (2005), o concreto poroso envolve uma sutil modificação na composição tradicional do cimento Portland, especialmente no que diz respeito à uniformidade na granulometria dos agregados. Embora o custo

inicial para a implementação dessa tecnologia seja relativamente alto, seus benefícios se manifestam a longo prazo. Vale ressaltar que a aplicação do concreto permeável não é adequada em subleitos fracos, uma vez que isso pode resultar em rachaduras devido aos movimentos da massa de solo.

Figura 3 - Concreto Permeável.



Fonte: Tentang Saya (2015).

Para Mazzoneto (2012), devido à granulometria, as peças de concreto permeável, que representam o método mais comum de utilização no Brasil, têm um custo mais elevado em comparação com as peças de concreto convencionais. O sistema completo de pavimentação pode chegar a ser 35% mais caro. Mariana, da ABCP, destaca, no entanto, que o custo de cada projeto deve ser cuidadosamente considerado, levando em conta que o concreto permeável desempenha a função tanto de pavimentação quanto de drenagem. Além disso, em muitos casos, sua utilização visa adequar o projeto às normas legais, respeitando as exigências de permeabilização estabelecidas pelos órgãos públicos

3.1.2. Concreto Asfáltico Poroso

De acordo com Virgiliis (2009), o concreto asfáltico poroso representa uma variação do concreto asfáltico tradicional, consistindo em uma mistura de ligante betuminoso e agregados com diâmetros uniformes. No entanto, é importante ressaltar que esse tipo de pavimento é suscetível ao entupimento dos poros devido ao próprio ligante. Caso o ligante seja excessivamente fluido ou a adesão entre o ligante e os agregados seja fraca, a superfície do revestimento pode sofrer colmatção.

A Figura 4 fornece uma representação visual do concreto asfáltico poroso, destacando claramente os poros na superfície.

Figura 4 - Concreto asfáltico poroso.



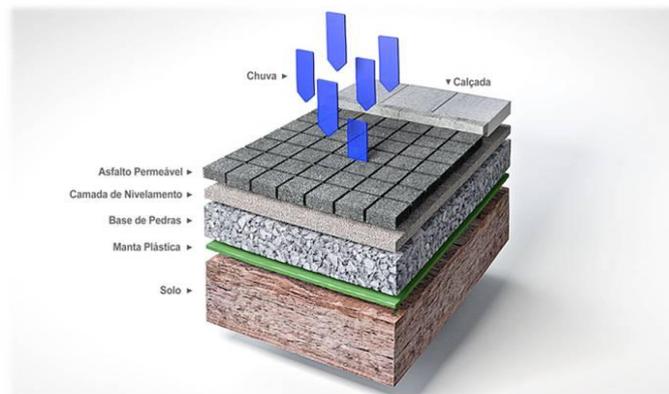
Fonte: Virgiliis (2009).

Segundo Maynard (2012), O asfalto permeável, também conhecido tecnicamente como CPA - Camada Porosa de Atrito, constitui uma parte essencial do pavimento, atuando como a interface entre a superfície e as camadas subjacentes. Sua produção envolve a mistura a quente de agregados, cimento asfáltico, fibras e polímeros. De maneira geral, o custo do asfalto permeável é cerca de 30% mais elevado em comparação com o asfalto convencional. No entanto, além de contribuir para a redução de picos de enchentes e a recarga de aquíferos, apresenta uma característica adicional de diminuição do ruído, na ordem de 3 decibéis. Ainda assim, sua aplicação em vias de tráfego intenso não é viável no momento, sendo mais apropriado para estacionamentos e vias de baixa movimentação, onde pode proporcionar diversos benefícios.

Uma das vantagens do uso do concreto asfáltico permeável é que ele atua como um filtro natural para a água, graças ao reservatório de pedras, o que possibilita a retenção de parte da poluição atmosférica e da sujeira das próprias ruas. Além disso, esse tipo de pavimento reduz o efeito de "spray", que consiste nos jatos de água gerados pelos veículos ao passarem sobre o asfalto.

A Figura 5 apresenta as diferentes camadas do concreto asfáltico permeável, começando com o próprio pavimento permeável, seguido por uma camada de nivelamento, base de pedras e uma manta plástica.

Figura 5 - Concreto Asfáltico Poroso.



Fonte: Fonseca (2011).

3.1.3 Blocos de Concreto Vazados

No processo de implementação dos blocos de concreto vazados, é importante observar que eles são assentados sobre uma base granular, geralmente composta de areia. Adicionalmente, para evitar o deslocamento de areia para a camada granular, é comum o uso de geotêxtis, que são posicionados sob a camada de areia fina (Araújo, 2000)

Segundo Virgiliis (2009), os blocos vazados de concreto são unidades designadas que apresentam desenhos incorporando células ou aberturas, permitindo o preenchimento com agregados ou grânulos. Quando dispostos lado a lado, formam uma superfície que se assemelha a um padrão simétrico em ângulos retos ou diagonais. Apesar de não serem particularmente econômicos como material de pavimentação, muitos desses blocos são resistentes e possuem uma vida útil considerável. A maioria é capaz de suportar eficientemente cargas pesadas.

Figura 6 - Pavimento composto por blocos de concreto vazados preenchidos com grama.



Fonte: Cimentpav (2022).

3.1.4 Pavimento em Blocos de Concreto Intertravados

Os blocos intertravados de concreto constituem um tipo de pavimentação capaz de suportar diferentes tipos de tráfego. Esses blocos, compostos por concreto maciço, são assentados sobre uma camada de areia que proporciona ao conjunto porosidade e permeabilidade, figura 7.

Figura 7 - Pavimento Bloco de Concreto Intertravado.



Fonte: Kerber (2010).

Virgiliis (2009) afirma que muitos blocos apresentam excelente durabilidade e resistência, proporcionando uma vida útil mais extensa e, conseqüentemente, uma economia significativa em termos de custo-benefício. Embora alguns desses blocos possam suportar tráfego pesado, sua relativa elevação de custos em comparação com outros tipos de pavimentos é notável. Esses blocos são susceptíveis a deformações longitudinais, bem como deformações na base e no subleito. Ao serem instalados, é essencial confiná-los às bordas rígidas, a fim de evitar tensões que poderiam resultar em desprendimento das peças. Geralmente, são limitados nas extremidades por sarjetas ou vigotas de concreto.

3.2. IMPLEMENTAÇÃO DA TECNOLOGIA NO RECIFE

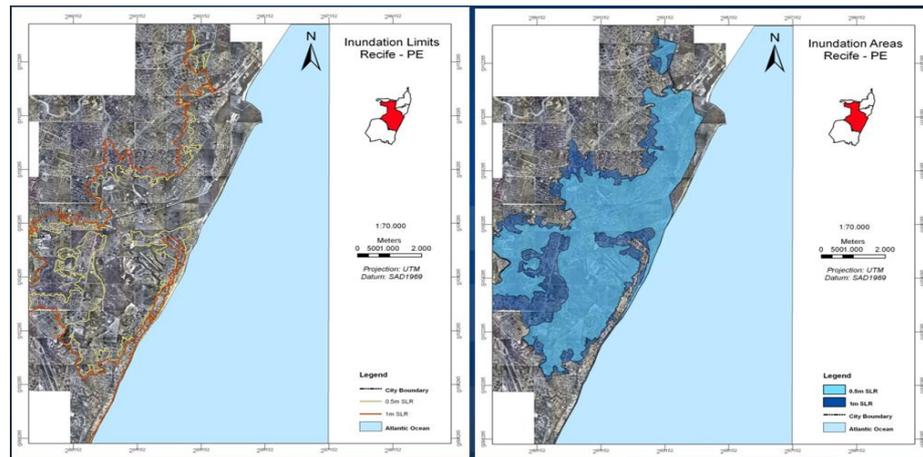
A impermeabilização do solo é um dos desafios urbanos contemporâneos e resulta do crescimento das áreas urbanas, o que tem contribuído para a ocorrência de enchentes, degradação da qualidade da água e vulnerabilidade das áreas urbanas às mudanças climáticas (Pereira; Almeida; Souza, 2018). Esse problema é especialmente relevante no contexto do Recife, onde tem ocorrido um aumento alarmante no número de alagamentos, demonstrando a vulnerabilidade das áreas urbanas a eventos climáticos extremos.

A busca por soluções inovadoras para abordar os desafios relacionados à drenagem urbana tem se destacado, e a drenagem pluvial sustentável tem sido apontada como uma abordagem alternativa relevante. A necessidade de soluções inovadoras é acentuada pela impermeabilização do solo no Recife, que ultrapassa a média nacional em termos de atendimento com drenagem de águas pluviais, mas ainda enfrenta desafios significativos, com cerca de 13% dos domicílios da cidade sujeitos a inundação (Cavalcante et al., 2019).

Nesse contexto, os pavimentos permeáveis emergem como uma solução inovadora e sustentável, oferecendo uma alternativa viável para mitigar os impactos da impermeabilização do solo e contribuir para a drenagem urbana adequada. Eles têm demonstrado a capacidade de melhorar a qualidade da água, reduzir o escoamento de água contaminada e proporcionar benefícios em termos de resfriamento urbano e conforto térmico (Melo et al., 2020).

As mudanças climáticas também têm um impacto direto no clima do Recife, com previsões de consideráveis impactos do derretimento de geleiras (Costa, 2018). Essas mudanças climáticas exacerbam os desafios de drenagem urbana, aumentando a incidência de chuvas intensas na cidade, figura 8.

FIGURA 8 - Vulnerabilidade do Recife às mudanças climáticas em 2016.



Fonte: Araújo, 2016

Além disso, os impactos das mudanças climáticas sobre o uso e ocupação do solo no Recife são destacados por Araújo (2016), ressaltando a necessidade de adaptação às condições climáticas em evolução. A gestão das áreas de risco na cidade é um fator crítico, uma vez que as mudanças climáticas podem agravar os riscos geológicos, aumentando a vulnerabilidade das áreas urbanas (Gusmão, 2017).

Para adaptar os princípios de sustentabilidade à realidade local do Recife, é fundamental considerar as especificidades climáticas e as condições do solo. O correto planejamento da drenagem urbana é uma parte essencial do desenvolvimento urbano, envolvendo a coleta, transporte e disposição das águas pluviais nas áreas urbanas. A falta de um sistema de drenagem adequado pode levar a enchentes e alagamentos, afetando a infraestrutura e a qualidade de vida dos habitantes da cidade (Souza et al., 2014).

Além disso, o Plano Diretor do Recife e a Lei de Uso e Ocupação do Solo são instrumentos essenciais para orientar o planejamento urbano e a mitigação de riscos de desastres decorrentes das chuvas. Esses instrumentos devem ser considerados

em conjunto com a Política de Sustentabilidade e de Enfrentamento das Mudanças Climáticas do Recife (RECIFE, 2014) para garantir um desenvolvimento urbano mais resiliente.

4. METODOLOGIA

4.1. TIPO DE PESQUISA

O presente estudo baseia-se em uma pesquisa de natureza exploratória, que visa aprofundar o conhecimento sobre a viabilidade e eficácia da aplicação de pavimentos permeáveis no contexto urbano do Recife. A abordagem metodológica adotada compreende uma análise crítica da literatura e a coleta de dados climáticos.

4.2. COLETA DE DADOS

4.2.1. Levantamento de dados climáticos

Para compreender a distribuição de chuvas e eventos climáticos extremos no Recife, foram coletados dados climáticos históricos. A fonte primária de dados foi o órgão oficial de meteorologia local. Foram considerados os seguintes parâmetros:

- Precipitação pluviométrica;
- Temperaturas médias e extremas;
- Níveis de umidade;
- Velocidade e direção dos ventos.

4.2.2. Análise de dados do SNIS

Foram obtidos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) relacionados à infraestrutura de drenagem urbana no Recife. Esses dados incluíram informações sobre a capacidade e eficácia dos sistemas de drenagem existentes, bem como problemas específicos em áreas urbanas.

4.3. ANÁLISE CRÍTICA DA LITERATURA

Foram realizadas revisões abrangentes da literatura relacionada a pavimentos permeáveis, drenagem urbana, alagamentos, mudanças climáticas e impactos da impermeabilização do solo. A análise crítica incluirá:

- Identificação de conceitos-chave;
- Princípios de funcionamento de pavimentos permeáveis;
- Vantagens e desvantagens dessa tecnologia;

4.4. ANÁLISE DE MATERIAIS

Foi realizada uma pesquisa para identificar materiais que fossem adequados para a construção de pavimentos permeáveis no Recife. A seleção de materiais levou em consideração sua capacidade de infiltração em solos locais e custos associados.

4.5. COMPARAÇÃO DE TECNOLOGIAS

Foram avaliados diferentes tipos de pavimentos permeáveis, como concreto poroso, asfalto poroso, blocos de concreto vazados e blocos de concreto intertravados. A comparação foi abrangente quanto ao desempenho, a durabilidade e os custos associados a cada tipo.

5. RESULTADOS

O estudo sobre a implementação de pavimento permeável no contexto urbano do Recife revela uma série de considerações relevantes. A impermeabilização do solo na região, resultante do crescimento das áreas urbanas, tem contribuído para desafios significativos, como enchentes, degradação da qualidade da água e vulnerabilidade às mudanças climáticas (Pereira; Almeida; Souza, 2018).

A análise das mudanças climáticas e seus impactos diretos no clima do Recife, incluindo previsões sobre o derretimento de geleiras (Costa, 2018), destaca a urgência de abordar questões relacionadas à drenagem urbana. Os trabalhos de Araújo (2016) e Gusmão (2017) sublinham a importância da adaptação às condições climáticas em

evolução e a gestão eficaz das áreas de risco para enfrentar os desafios geológicos agravados pelas mudanças climáticas.

A necessidade de soluções inovadoras na drenagem urbana é enfatizada, especialmente diante da impermeabilização do solo no Recife, que ultrapassa a média nacional e enfrenta desafios significativos, com cerca de 13% dos domicílios sujeitos a inundações (Cavalcante et al., 2019). Nesse contexto, os pavimentos permeáveis surgem como uma alternativa sustentável, capaz de mitigar os impactos da impermeabilização, melhorar a qualidade da água e proporcionar benefícios em termos de resfriamento urbano e conforto térmico (Melo et al., 2020).

A introdução de tecnologias como o concreto permeável e o asfalto permeável oferece uma abordagem promissora para enfrentar esses desafios. A utilização desses materiais pode ser visualizada como uma resposta às legislações municipais que buscam destinar parte do terreno à área permeável (Pereira; Almeida; Souza, 2018). A figuração do concreto poroso, conforme a ilustração na Figura 4, demonstra a diferença estrutural significativa em comparação com o concreto convencional, destacando os poros que facilitam a infiltração da água.

No entanto, é crucial considerar aspectos específicos do Recife, como suas condições climáticas e características do solo, ao implementar essas soluções. O correto planejamento da drenagem urbana, conforme discutido por Souza et al. (2014), é essencial para evitar enchentes e alagamentos, preservando a infraestrutura urbana e a qualidade de vida dos habitantes.

Em relação à aplicação prática, o estudo revela que a utilização de pavimentos permeáveis, como os blocos de concreto vazados e o concreto asfáltico poroso, pode proporcionar soluções eficazes. A Figura 7 destaca um exemplo de pavimento em blocos de concreto vazados preenchidos com grama, ilustrando uma alternativa esteticamente agradável e funcional.

Os resultados obtidos reforçam a importância da consideração integrada de políticas urbanas, instrumentos legais, e tecnologias inovadoras para enfrentar os desafios da impermeabilização do solo e melhorar a drenagem urbana no Recife. A

implementação bem-sucedida dessas soluções pode contribuir não apenas para a sustentabilidade ambiental, mas também para a resiliência urbana diante das mudanças climáticas e dos eventos climáticos extremos.

6. CONCLUSÃO

A abordagem inovadora e sustentável dos pavimentos permeáveis emerge como uma solução promissora para enfrentar os desafios contemporâneos relacionados à impermeabilização do solo e à drenagem urbana no Recife. Os resultados desta análise destacam a relevância crítica de considerar as condições climáticas específicas da região, a fim de desenvolver estratégias adaptadas e eficazes.

A impermeabilização do solo, resultante do crescimento urbano acelerado, tem implicações significativas, incluindo enchentes, degradação da qualidade da água e acentuação da vulnerabilidade às mudanças climáticas. A implementação de pavimentos permeáveis, como o concreto poroso e o asfalto permeável, oferece uma alternativa inovadora para mitigar esses impactos, promovendo a infiltração da água e reduzindo o escoamento superficial.

A pesquisa também destaca a necessidade de integração de instrumentos legais, como o Plano Diretor do Recife e a Lei de Uso e Ocupação do Solo, com políticas de sustentabilidade e enfrentamento das mudanças climáticas. Essa abordagem integrada é fundamental para orientar o desenvolvimento urbano de maneira resiliente e sustentável.

A variedade de tecnologias apresentadas, como os blocos de concreto vazados e o concreto asfáltico poroso, oferece opções adaptáveis a diferentes contextos urbanos. Além dos benefícios diretos na gestão da água pluvial, essas soluções também proporcionam melhorias estéticas e contribuem para a qualidade de vida urbana.

Os resultados apontam para a necessidade de conscientização e adoção progressiva dessas tecnologias pelos planejadores urbanos, construtores e

comunidade em geral. Embora haja um investimento inicial mais elevado, os benefícios a longo prazo em termos de resiliência urbana, sustentabilidade ambiental e redução de custos associados a problemas decorrentes da impermeabilização justificam essas práticas.

Em resumo, a implementação de pavimentos permeáveis no Recife representa uma abordagem inovadora e sustentável para aprimorar a drenagem urbana, mitigar os impactos adversos da impermeabilização do solo e promover um desenvolvimento urbano mais resiliente diante das mudanças climáticas. Essa transição para soluções mais sustentáveis não apenas aborda questões imediatas, mas também contribui para a construção de cidades mais preparadas para os desafios do futuro.

REFERÊNCIAS

- ÁGUA E SANEAMENTO. **Municípios e Saneamento - Recife**. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/pe/recife>. Acesso em: 30 de Setembro de 2023..
- ARAÚJO, M. **Os impactos das mudanças climáticas sobre o uso e ocupação do solo no Recife**. In: COMCLIMA, 9, 2016, Recife. Anais [...]. Recife: COMCLIMA, 2016.,
- CAVALCANTE, F. S.; LIMA, J. M. C.; NETO, A. L. F.; RIBEIRO, F. N. **Pavimentos permeáveis: uma alternativa para o controle da drenagem urbana em áreas urbanas**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 6, p. 2169-2190, 2019.
- CONCRETE CONSTRUCTION. **CURING PERVIOUS CONCRETE**. Disponível em: [Curing Pervious Concrete| Concrete Construction Magazine](#) Acesso em: 28 de Outubro de 2023.
- COSTA, C. **Nasa prevê impacto de derretimento de geleiras em três cidades brasileiras**. BBC New Brasil, São Paulo, 22 nov. 2018.
- ESCOLA ENGENHARIA. **Piso Intertravado: O que é, principais tipos, vantagens e desvantagens** Disponível em: <https://1nk.dev/QJPvA> Acesso em: 25 de Outubro de 2023
- FONSECA, M. Asfalto permeável, Blog: **A construção coletiva do nosso futuro: Uma conversa sobre inovação, cidadania e democracia**, 2011. Disponível em: <http://blog.movimentominas.com.br/blog/asfalto-permeavel>
- GUSMÃO, A. D. **Mudanças climáticas e riscos geológicos no Recife**. In: COMCLIMA, 9, 2017, Recife. Anais [...]. Recife: COMCLIMA, 2017. 56 slides, color.
- MAYNARD, L., SANTOS, M. **Siurb normatiza utilização de asfalto permeável, para evitar enchentes**; Diário Oficial da Cidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: http://www.apemec.com.br/arquivos_pdf/noticias/siurb_normatiza_utilizacao_asfalto_enchentes.pdf
- MAZZONETTO, C., Concreto Permeável: **Alternativa para aumentar a permeabilidade de pavimentos submetidos a cargas reduzidas, sistema demanda cuidados de especificação, instalação e manutenção**, Revista PINI, 2012. Disponível em: <http://www.infraestruturaurbana.com.br/solucoestecnicas/13/artigo254488-2.asp>
- MELO, D. D. S.; SOUZA, E. D.; FREITAS, J. C.; SOUZA, M. L. A. **Pavimentos permeáveis como alternativa para redução das ilhas de calor urbano: estudo de caso em Fortaleza**, Ceará. Revista Ambiente Construído, v. 20, n. 2, p. 127-142, 2020.
- MELO, I. S.; CARVALHO, R. M. C. M. O.; SOBRAL, M. C. M.; LYRA, M. R. C. C.; SILVA, H. P. **Adaptação aos impactos das mudanças climáticas na perspectiva do Plano Diretor da Cidade do Recife**. Revista brasileira de estudos urbanos e regionais. v. 23, E202140pt, 2021. DOI 10.22296/2317-1529.rbeur.202140pt
- PEREIRA, A. S.; ALMEIDA, G. N.; SOUZA, R. S. **Urbanização e impermeabilização do solo: desafios à gestão da drenagem urbana sustentável**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 3, p. 455-464, 2018.
- PINTEREST. **Paving Stones - Turfstone** Disponível em: <https://1nq.com/cVtZ> Acesso em: 25 de Outubro de 2023
- RECIFE. **Política de Sustentabilidade e de Enfrentamento das Mudanças Climáticas do Recife**. 2014.

SAYA, T. **Selamat Datang di Blog Teknik Kelautan!**. Disponível em: <https://l1nq.com/7cSwX> Acesso em: 25 de outubro de 2023

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.; ASSIMS, J. M. O. SOBRAL, M. C. **Áreas de risco mais vulneráveis aos desastres decorrentes das chuvas em Recife-PE**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n. 34, 2014.

URBONAS, B. e STAHR, P. **"Storm water Best Management Practices and Detention"** Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, (1993), 450p.

YANG, J.; JIANG, G. **Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials**. *Cement and Concrete Research*, 381-383.2003.

VIRGILIIS, A. L. C. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias** / ed.: rev. São Paulo, 2009, 191.p.