



INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS PALMEIRA DOS INDIOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

OZÉAS OTAVIO DE OLIVEIRA SANTOS

**INOVAÇÃO E TRADIÇÃO: UMA AVALIAÇÃO CRÍTICA ENTRE PAVER E
PARALELEPÍPEDO GRANÍTICO EM PROJETOS DE PAVIMENTAÇÃO**

PALMEIRA DOS ÍNDIOS - AL

2024

OZÉAS OTAVIO DE OLIVEIRA SANTOS

INOVAÇÃO E TRADIÇÃO: UMA AVALIAÇÃO CRÍTICA ENTRE PAVER E
PARALELEPÍPEDO EM PROJETOS DE PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Palmeira dos Índios, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Eliédson Rafael de Carvalho

PALMEIRA DOS ÍNDIOS - AL

2024



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
***Campus* Palmeira dos Índios**
Biblioteca Prof. Amaro Nascimento Mendes

625.8

S237i Santos, Ozéas Otavio de Oliveira.

Inovação e tradição [recurso eletrônico] : uma avaliação crítica entre paver e paralelepípedo granítico em projetos de pavimentação / Ozéas Otavio de Oliveira Santos. – Dados eletrônicos (1 pdf : 1,85 MB). – 2024.

Trabalho com 33 f.

Inclui figuras, tabelas e referências.

Orientação: Prof. Me. Eliédson Rafael de Carvalho.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Alagoas, *Campus* Palmeira dos Índios, 2024.

1. Engenharia Civil. 2. Pavimentação – Impermeabilidade. 3. Intertravado 4. Paralelepípedo granítico. I. Título.

Franciane Monick Gomes de França
Bibliotecária – CRB 4/1831

OZÉAS OTAVIO DE OLIVEIRA SANTOS


INOVAÇÃO E TRADIÇÃO: UMA AVALIAÇÃO CRÍTICA ENTRE PAVER E
PARALELEPÍPEDO EM PROJETOS DE PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Alagoas, *campus* Palmeira dos Índios, como requisito parcial, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.


Aprovado em: 20 /08 /2024.

Conceito Obtido: 8,00


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **ELIEDSON RAFAEL DE CARVALHO**
Data: 25/10/2024 11:05:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Eliédson Rafael de Carvalho (Orientador)
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

Documento assinado digitalmente
 **JOSE DIOGO BARBOSA DE ALMEIDA**
Data: 25/10/2024 11:24:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. José Diogo Barbosa de Almeida (Membro)
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

Documento assinado digitalmente
 **GUILHERME VIANA WANDERLEY**
Data: 26/10/2024 10:15:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Guilherme Viana Wanderley (Membro)
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

AGRADECIMENTOS

O curso de Engenharia Civil foi um dos maiores desafios que já enfrentei. No entanto, as experiências enriquecedoras vividas ao conhecer pessoas incríveis e superar as dificuldades, principalmente nas provas de cálculos, que ocuparam a maior parte do curso, foram fundamentais. Quero expressar minha profunda gratidão à minha família, cujo apoio foi essencial para construir minha jornada acadêmica.

Um agradecimento especial é destinado aos professores que generosamente compartilharam seu conhecimento, tornando-se parte integrante do meu aprendizado e do de muitos outros estudantes. Ao meu orientador e engenheiro formado pela instituição, Eliedson Carvalho, devo agradecer pela paciência e constante apoio.

Às amigas que construí ao longo dessa jornada, especialmente a Gustavo Macedo, que infelizmente, não está mais entre nós, expressei meu reconhecimento. Sem dúvida, estudar juntos tornou o curso menos árduo. A capacidade dele de trazer leveza e diversão aos dias, independentemente dos desafios, é algo que sempre lembrarei com carinho.

RESUMO

A urbanização desordenada das cidades resultou em uma significativa impermeabilização do solo, agravando problemas como alagamentos e cheias nas bacias urbanas. A escolha do tipo de pavimentação desempenha um papel crucial na gestão desse fenômeno e na mitigação de seus impactos. Ao comparar os tipos de pavimentação, é essencial considerar não apenas a capacidade de reduzir a impermeabilização, mas também outros aspectos como custos, estética, durabilidade e sustentabilidade. Em termos de custos, conforme dados do SINAP (Sistema Nacional de Pesquisas de Custo e Índices da Construção Civil), o pavimento intertravado apresenta um custo de implementação e manutenção de R\$107,79 por metro quadrado, enquanto o pavimento em paralelepípedo tem um custo de R\$123,1 por metro quadrado. Essa informação fornece uma base para avaliar a viabilidade econômica de cada tipo de pavimentação. É importante ressaltar que a escolha entre pavimento intertravado e paralelepípedo deve levar em consideração não apenas os custos, mas também os benefícios ambientais, estéticos e de desempenho de cada opção, contribuindo para uma gestão mais sustentável das áreas urbanas.

Palavras-chave: intertravado; paralelepípedo granítico; impermeabilidade.

ABSTRACT

The disorderly urbanization of cities has resulted in significant soil sealing, aggravating problems such as flooding and flooding in urban basins. The choice of the type of paving plays a crucial role in managing this phenomenon and mitigating its impacts. When comparing types of paving, it is essential to consider not only the ability to reduce waterproofing, but also other aspects such as costs, aesthetics, durability and sustainability. In terms of costs, according to data from SINAP (National System of Cost Research and Civil Construction Indexes), interlocking pavement has an implementation and maintenance cost of R\$107.79 per square meter, while cobblestone pavement has a cost of R\$123.1 per square meter. This information provides a basis for evaluating the economic viability of each type of paving. It is important to highlight that the choice between interlocking pavement and cobblestone must take into account not only the costs, but also the environmental, aesthetic and performance benefits of each option, contributing to a more sustainable management of urban areas..

Keywords: interlocked; granite cobblestone; impermeability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura de um pavimento flexível.....	11
Figura 2 – Classificação dos revestimentos	12
Figura 3 – Camadas da pavimentação por calçamento	12
Figura 4 – Diferença de pavimentos	14
Figura 5 – Especificação do chanfro	16
Figura 6 – Experimento de escoamento superficial	21
Figura 7 – Pavimento em intertravado	24
Figura 8 – Piso intertravado retangular.	24
Figura 9 – Piso intertravado tipo II	25
Figura 10 – Piso intertravado tipo III, sextavado	25
Figura 11 – Piso intertravado tipo IV, raquete	26
Figura 12 – Pavimento em paralelepípedo no coliseu.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Granulometria especificada.....	15
Tabela 2 – Resistência a compressão	16
Tabela 3 – Recomendação de material de assentamento	17
Tabela 4 – Questões norteadoras.....	18
Tabela 5 –Estratégia de busca	18
Tabela 6 – Resultado dos materiais que atenderam os critérios de seleção	19
Tabela 7 – Tipos de paralelepípedo granítico	27
Tabela 8 – Composição das pavimentações e manutenção	28
Tabela 9 – Execução de pavimento mais manutenção	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	10
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 Objetivo Geral	11
1.2.2 Objetivos Específicos	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 PAVIMENTAÇÃO	12
2.1.1 PANORAMA DA PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL	14
2.1.2 TIPOS DE PAVIMENTO	14
2.2 PAVIMENTAÇÃO EM PARALELEPÍPEDO	15
2.3 PAVIMENTAÇÃO EM PAVER	16
3 METODOLOGIA	19
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1 ANÁLISE COMPARATIVA	21
4.1.1 Impermeabilização do Solo	21
4.1.2 Aspectos ambientais	22
4.1.3 Estética	24
4.1.4 Custo	28
4.2 BOAS PRÁTICAS E RECOMENDAÇÕES	30
5 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Usar paralelepípedo granítico ou paver o popular piso intertravado para pavimentação urbana? Esta questão vem perturbando os projetistas e engenheiros no Brasil. Sabe-se que ao longo do tempo o famoso “calçamento” o pavimento em paralelepípedo granítico foi intensamente utilizado no Brasil e tornou-se uma cultura o uso deste tipo de material nas melhorias de ruas país a fora.

Na Europa, existe registro do uso do piso intertravado ainda no século XIX, no entanto somente após a segunda guerra mundial, países como Alemanha e Holanda passaram a utilizar piso intertravado para reconstruir suas vias urbanas. Na década de 1960 o paver já se encontrava consolidado na maioria dos países europeus. Ao final dos anos 70, sua utilização também cresceu em países como Estados Unidos e o Japão. O paver chegou ao Brasil na década de 70 (TETRACON, 2017). Fabricado em várias dimensões como veremos no decorrer deste estudo, tem sido amplamente utilizado como alternativa ecológica, sustentável e de menor custo.

No Brasil o uso do paver é relativamente novo e ainda restrito a aplicação em estacionamento, praças, parques e condomínios. Em recente entrevista sr. Ronaldo de Oliveira sócio diretor da Relevo Pré-moldados, produtora de piso intertravado na região de Arapiraca, afirmou que “Em Alagoas algumas cidades como Limoeiro de Anadia, Poço das Trincheiras e Arapiraca já desenvolveram experiências bem sucedidas no uso do paver, como alternativa eficaz de urbanização de ruas e logradouros públicos.”

Portanto, o presente trabalho busca verificar, através de revisão bibliográfica de literatura, as implicações da escolha entre pavimentação de paver e paralelepípedo granítico como camada de revestimento de pavimentos em ambientes urbanos, considerando fatores como impermeabilização do solo, aspectos ambientais, custo, durabilidade e impacto estético. Ao fazer isso, almejamos contribuir para a construção de ambientes urbanos mais resilientes, eficientes e sustentáveis.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar, através de revisão bibliográfica, as implicações da escolha entre pavimentação de paver e paralelepípedo como camada de revestimento de pavimentos em ambientes urbanos, considerando fatores como impermeabilização do solo, aspectos ambientais, estética, custo e durabilidade.

1.2.2 Objetivos Específicos

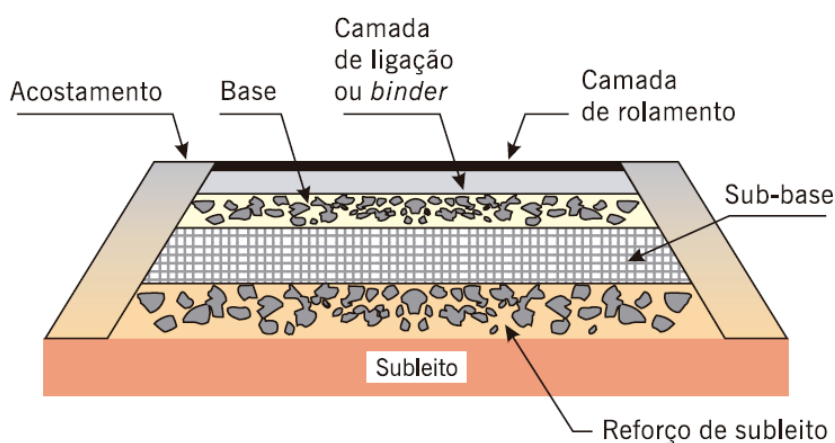
- Levantar referencial bibliográfico sobre pavimentação em paver e paralelepípedo;
- Analisar a influência da escolha do material na impermeabilização do solo;
- Investigar os aspectos ambientais relacionados com as opções de pavimentação;
- Realizar comparativo entre a estética da pavimentação em paver e paralelepípedo;
- Comparar custo e durabilidade entre pavimentação em paver e paralelepípedo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PAVIMENTAÇÃO

O pavimento é o conjunto de estruturas com a função principal de garantir segurança e conforto ao usuário, onde a terraplanagem tem como função alterar o terreno, para adequação ao projeto, fazendo cortes, aterros e compactação, em casos de solos “ruins”, fazer a substituição por um solo com uma melhor qualidade e fazer a devida compactação. Conforme podemos observar na Figura 1.

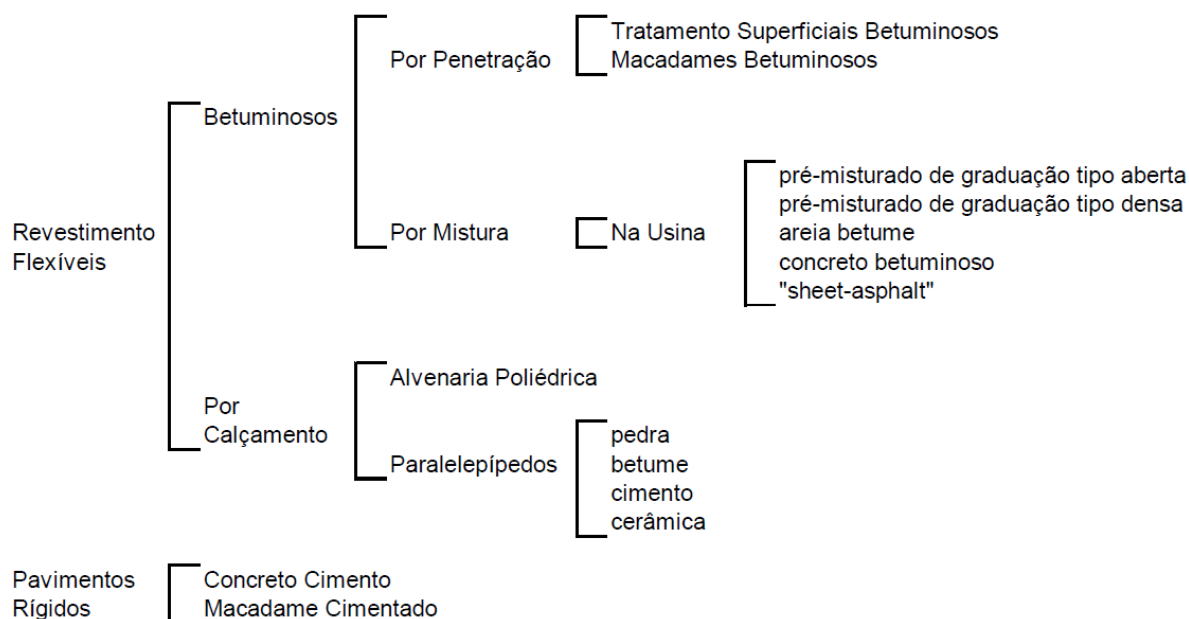
Figura 1 - Estrutura de um pavimento flexível



Fonte: Pavimentação Asfáltica, 2008.

Podemos observar na Figura 2, a seguir, que os revestimentos flexíveis abrangem uma variedade de materiais, incluindo os revestimentos por paralelepípedo, nos quais se destacam o paralelepípedo granítico e o paver. O revestimento em paralelepípedo granítico consiste em blocos regulares formados geralmente por granito assentados sobre um colchão de areia de regularização composto por um material granular apropriado. As juntas entre os blocos geralmente são preenchidas com argamassa de cimento Portland (DNIT, 2006).

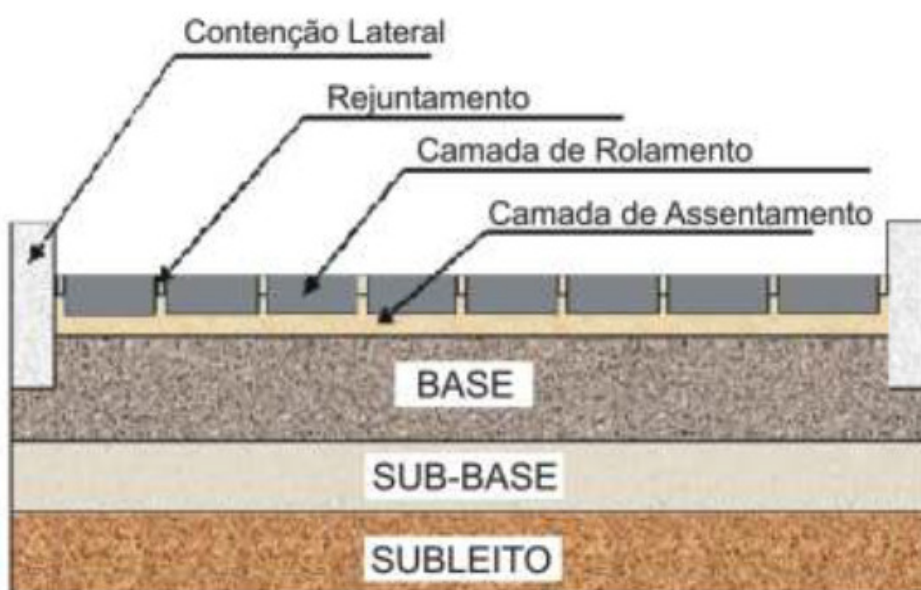
Figura 2 - Classificação dos revestimentos



Fonte: Adaptado de DNIT, 2006.

A execução da pavimentação em paver é semelhante a dos paralelepípedos, no entanto, requer mais cuidados, especialmente para garantir o intertravamento das peças. Isso ocorre porque o método mais comum de assentamento do pavimento em paver envolve apenas o rejunte com material granular, conforme a Figura 3.

Figura 3 - Camadas da pavimentação por calçamento



Fonte: T & A Blocos e Pisos, 2004.

2.1.1 PANORAMA DA PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL

A densidade das redes rodoviárias pavimentadas no Brasil ainda é muito baixa, principalmente quando comparada a países com dimensões territoriais semelhantes. Existem aproximadamente 25,1 km de rodovias pavimentadas para cada 1.000 quilômetros quadrados de área, o que corresponde a apenas 12,4% da extensão total das estradas nacionais. Em contraste, os Estados Unidos têm uma densidade média de 438,1 km por 1.000 km² ou área, enquanto a China e a Rússia têm densidades médias de 359,9 e 54,3 km, respectivamente. Os dados são da Pesquisa sobre Rodovias Brasileiras realizada pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) em 2023.

Analisando as regiões sobre a ótica das rodovias federais, a região Nordeste apresenta maior percentual de infraestrutura rodoviária pavimentada (31%), seguida por Sul (18%), Centro-Oeste (17,8%), Sudeste (17,7%) e Norte (15,6%). Dados do departamento nacional de infraestrutura e transporte (DNIT) 2023.

A expansão das estradas pavimentadas não acompanha o ritmo de crescimento da frota de veículos. Entre os anos de 2012 e 2022, enquanto a frota crescia 51,2%, a extensão das rodovias federais aumentava apenas 2,5%. (CNT 2023)

Além dos problemas relatados, a maioria das estradas pavimentadas no Brasil não está em boas condições. Como resultado disso, o país ocupa a 93^a posição na classificação global de competitividade da infraestrutura rodoviária do Fórum Econômico Mundial. Em setembro deste ano foram avaliados 141 países nesta pesquisa.

2.1.2 TIPOS DE PAVIMENTO

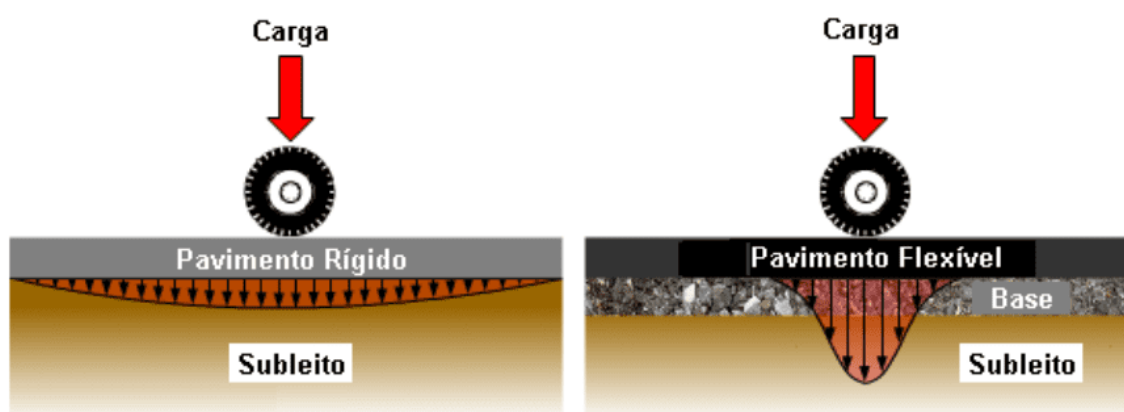
Os tipos de pavimentos segundo o manual de pavimentação (DNIT, 2006), os pavimentos podem ser classificados em três categorias principais: flexível, semirrígido e rígido.

Pavimento flexível: Nesse tipo de pavimento, todas as camadas sofrem uma deformação elástica sob o carregamento aplicado, o que resulta em uma distribuição da carga de forma equivalente ao longo das camadas. Possui uma estrutura geralmente composta por subleito, sub-base, base e revestimento, sendo as camadas de base e sub-base camadas granulares.

Pavimento semirrígido: Caracterizado pela presença de uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias. Essa base confere uma certa rigidez ao pavimento, mas ainda permite alguma deformação elástica.

Pavimento rígido: Esse tipo de pavimento é caracterizado por ter um revestimento tão rígido que praticamente absorve toda a carga que lhe é aplicada. Geralmente é constituído por lajes de concreto de cimento Portland, proporcionando uma superfície altamente resistente e durável. Podemos ver a diferença nessa atuação das cargas através da Figura 4.

Figura 4 - Diferença de pavimentos



Fonte: métodos de pavimentação, 2024.

2.2 PAVIMENTAÇÃO EM PARALELEPÍPEDO

A pavimentação em paralelepípedo é considerada um tipo de pavimento flexível, de acordo com o manual de pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Nos pavimentos flexíveis, as deformações elásticas ocorrem em todas as camadas, distribuindo-se em parcelas aproximadas, o que evita que o revestimento tenha que absorver a carga integralmente (DNIT, 2006).

Seguindo as diretrizes do manual, a pavimentação em paralelepípedo granítico é caracterizada pela utilização de blocos regulares assentados sobre um colchão de regularização composto por material granular. As juntas entre os blocos podem ser preenchidas tanto com o próprio material do colchão quanto com argamassa de cimento Portland. Os blocos de

paralelepípedos são comumente fabricados a partir de materiais como granito, gnaisse ou basalto (DERBA, 2011).

Segundo o Departamento de Infraestrutura de Transporte da Bahia (DERBA) algumas características de resistência que as pedras independentes do material têm que possuir para serem utilizadas na pavimentação são elas:

- Resistência a compressão de 98 Mpa
- Peso aparente de 2.400 kg/m³
- Absorção de água após 48 horas de 0,5%, em peso
- Comprimento: 17 a 23 cm
- Largura: 12 a 15cm
- Altura: 11 a 14cm

Conforme orientações do DERBA, é fundamental ressaltar que o material utilizado no assentamento do paralelepípedo granítico não pode conter matéria orgânica. Além disso, é necessário que o material atenda à granulometria especificada, seguindo as normas e recomendações estabelecidas para garantir a qualidade e durabilidade do calçamento. O cumprimento dessas diretrizes contribui para a eficácia e a resistência do pavimento, assegurando que o material de assentamento atenda aos padrões exigidos para o bom desempenho da infraestrutura viária, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Granulometria especificada

PENEIRA		% PASSANDO EM PESO
ASTM	mm	
Nº 4	4,8	100
Nº 200	0,074	5 - 15

Fonte: DERBA-ES-P-20, 2011.

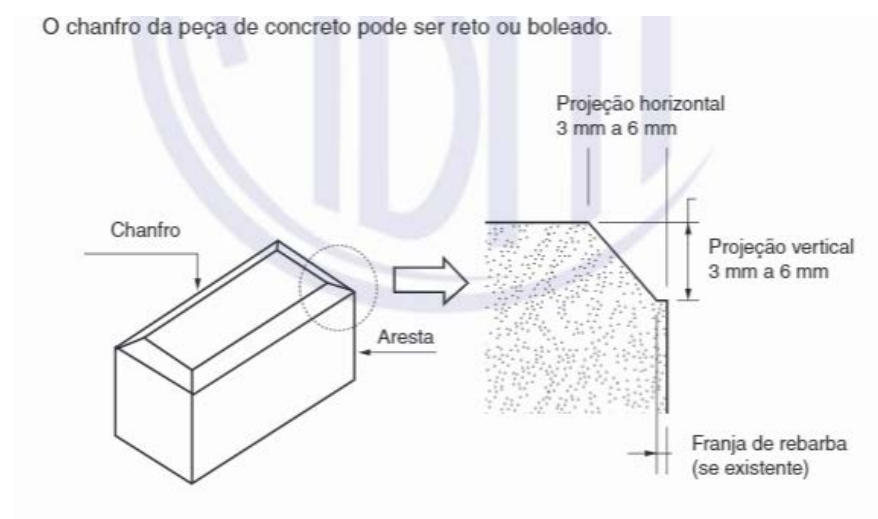
2.3 PAVIMENTAÇÃO EM PAVER

A pavimentação em paver pode ser referida como pavimentação intertravada, destacando sua capacidade de travamento nos sentidos horizontal, vertical e de rotação, a partir deste momento a nomenclatura intertravado será utilizada para se referir a este tipo de pavimento. Nesse contexto, o intertravado é considerado um pavimento flexível (DNIT, 2006), possuindo características específicas para sua aplicação em projetos de pavimentação, de

acordo com a NBR 9781 (Peças de concreto para pavimentação – Especificação e métodos de ensaio).

- Comprimento máximo de 25cm.
- Largura mínima de 9,7cm na área de aplicação de carga.
- Espessura de no mínimo 6cm, com especificação de múltiplos de 2cm.
- Tolerância de mais o menos 0,3cm para todas as dimensões.
- Chanfro, Figura 5.

Figura 5 – Especificação do chanfro



Fonte: ABNT NBR 9781, 2023.

- Resistência a compressão, Tabela 2.

Tabela 2 - Resistência a compressão

Solicitação	Resistência característica à compressão (f_{pk}) aos 28 dias MPa
Tráfego de pedestres, veículos leves e veículos comerciais de linha	≥ 35
Tráfego de veículos especiais e solicitações capazes de produzir efeitos de abrasão acentuados	≥ 50

Fonte: ABNT NBR 9781, 2023.

A camada de assentamento apresenta algumas ressalvas e pequenas diferenças em relação ao assentamento de paralelepípedo granítico. Inicialmente, essa camada deve possuir uma espessura de aproximadamente 5 cm, com uma variação de até 2 cm, quando em condição compacta, conforme especificado no projeto. Adicionalmente, a norma também estipula uma granulometria específica para essa camada, indicando a distribuição granulométrica recomendada para garantir a qualidade e a estabilidade do assentamento. O cumprimento dessas diretrizes é essencial para assegurar a eficácia e a durabilidade do pavimento conforme ilustrado na Tabela 3 (ABNT, 2011).

Tabela 3 - Recomendação de Material de assentamento

Abertura da peneira (ABNT NBR NM ISO 3310-1)	Porcentagem retida, em massa %
6,3 mm	0 a 7
4,75 mm	0 a 10
2,36 mm	0 a 25
1,18 mm	5 a 50
600 µm	15 a 70
300 µm	50 a 95
150 µm	85 a 100
75 µm	90 a 100

Fonte: ABNT NBR 15953, 2011.

3 METODOLOGIA

A pavimentação de superfícies urbanas e de tráfego é uma parte fundamental da infraestrutura de qualquer região. Com diversas opções disponíveis, os materiais e métodos escolhidos para pavimentação podem influenciar significativamente aspectos como sustentabilidade, custo, durabilidade e impacto estético. Esta revisão bibliográfica visa fornecer uma avaliação crítica comparativa entre os pavimentos de paver e paralelepípedo granítico em projetos de pavimentação, considerando esses fatores, conforme podemos ver as questões na Tabela 4.

Tabela 4 – Questões norteadoras

Como a pavimentação em intertravado e a pavimentação em paralelepípedo granítico influenciam na sustentabilidade ambiental?
Quais são os custos associados à implementação de cada tipo de pavimentação em ambientes urbanos?
Qual é a durabilidade estimada de pavimentações de paver e paralelepípedo granítico?
Como cada tipo de pavimentação impacta visualmente o ambiente urbano?

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Serão considerados para análise apenas os artigos publicados em português e disponíveis na íntegra. Os estudos devem abordar especificamente a pavimentação com paver e paralelepípedo granítico em ambientes urbanos, levando em consideração aspectos de sustentabilidade, custo, durabilidade e impacto estético. Serão excluídos da base de dados os artigos que não tratam do tema proposto, pesquisas que não abordam sustentabilidade, custos, durabilidade e impacto estético, bem como artigos que não estejam disponíveis na íntegra. Seguindo a estratégia de busca, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Estratégia de busca

Palavras-Chave	Resultados Esperados
Pavimentação de Paver	Estudos comparativos entre pavimentação de paver e paralelepípedo granítico, com ênfase na mitigação do solo urbano.
Pavimentação em Paralelepípedo Granítico	Pesquisas que abordam os efeitos da pavimentação em ambientes urbanos, considerando aspectos como sustentabilidade e custos.
Mitigação do Solo	Artigos que discutem técnicas de mitigação do solo em contextos urbanos, incluindo impactos ambientais e estéticos.
Ambientes Urbanos	Estudos que examinam problemas e soluções relacionados à pavimentação em áreas urbanas.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

As buscas para o levantamento de referência bibliográfico foram realizadas na plataforma Google Acadêmico. Para a seleção dos estudos, foram analisados critérios como a relevância para as questões da pesquisa, qualidade metodológica e atualidade dos estudos. Durante o processo de seleção, foi realizada a leitura inicial para pré-seleção com base nos títulos e resumos dos artigos, seguida por uma leitura completa dos artigos selecionados. Conforme Tabela 6 de resultados da pesquisa.

Tabela 6 - Resultado dos materiais que atenderam os critérios de seleção

Trabalhos selecionados que foram utilizados como fonte de pesquisa	Total
Titulos Publicados (artigos, livros, dissertações, manuais e etc.)	17
Normas e diretrizes	5
Total	22

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Este material levantado serviu tanto como guia para conduzir a revisão bibliográfica sobre a escolha entre pavimentação de paver e pavimentação em paralelepípedo granítico, bem como para realização de estudo comparativo, considerando aspectos de sustentabilidade, custos, durabilidade e impacto estético.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANALISE COMPARATIVA

4.1.1 Impermeabilização do Solo

Nas bacias urbanas, a impermeabilização do terreno tem um impacto significativo no ciclo hidrológico, principalmente na parte terrestre. Esse impacto afeta diretamente o escoamento superficial e a infiltração, (FRITZEN; BINDA, 2011).

A impermeabilização ocorre quando áreas extensas são cobertas por superfícies impermeáveis, como asfalto, concreto e edificações. Essas superfícies impedem a absorção natural da água pelo solo, causando alterações no fluxo hídrico da região (FRITZEN; BINDA, 2011). Neste caso a água não é absorvida pelo solo, e sim é direcionada rapidamente para os sistemas de drenagem, resultando em um aumento no escoamento superficial (NUNES & ROSA, 2020)

Esse aumento no escoamento superficial pode levar a problemas como enchentes urbanas, uma vez que a capacidade dos sistemas de drenagem pode ser sobrecarregada (ESTRABIS, SILVA TELES, & CAVAZZANA, 2014). Além disso, a redução na infiltração do solo pode prejudicar a recarga dos lençóis freáticos e impactar negativamente o equilíbrio do ciclo hidrológico local (FRITZEN; BINDA, 2011). Portanto, a gestão adequada da impermeabilização em áreas urbanas é crucial para minimizar esses impactos e promover uma abordagem mais sustentável do uso da terra.

Segundo a pesquisa conduzida por (APOLINÁRIO et al., 2017), o paver apresenta um índice de escoamento mais baixo em comparação com o paralelepípedo. Isso é atribuído às características do paver, como a utilização de agregados miúdos e graúdos, resultando em uma maior porosidade. O paver atinge um coeficiente de 0,11, enquanto o paralelepípedo granítico atinge um coeficiente de 0,23, em condições de baixa intensidade de chuva, o pavimento intertravado chegou a apresentar escoamento nulo, indicando uma eficiência na drenagem sob essas circunstâncias.

A pesquisa envolveu experimentos práticos com a participação de diferentes tipos de pavimentos, incluindo o pavimento asfáltico, o pavimento intertravado permeável e impermeável, além do pavimento de paralelepípedo granítico. O local escolhido para a

realização da pesquisa foi a rua Clevelândia, no bairro Vila Nova, na cidade de Francisco Beltrão, localizada no sudoeste do Paraná.

Para a condução dos experimentos, foram construídas quatro parcelas, cada uma com um metro quadrado, representando um tipo de pavimento. Foi instalado um pluviômetro com capacidade de 150mm a uma altura de 1,2m do solo, juntamente com baldes coletores para a captação do volume de escoamento superficial conforme Figura 6. Esses dados foram posteriormente utilizados nos cálculos. Abaixo, segue uma imagem do experimento para melhor visualização.

Figura 6 - Experimento de escoamento superficial



Fonte: Apolinario, 2023.

Considerando que o terreno apresenta uma inclinação de 20%, a pesquisa, com duração de 2 meses, revelou dados relevantes, especialmente durante os 13 dias chuvosos registrados nesse período. A amostragem indica que o pavimento intertravado permeável, em comparação com a pavimentação em paralelepípedo granítico, demonstra uma redução significativa no escoamento superficial, chegando a ser pela metade. Essa informação destaca a eficácia do pavimento intertravado permeável na gestão da água em condições de chuva, apresentando-se como uma opção mais eficiente em termos de drenagem.

4.1.2 Aspectos Ambientais

O piso intertravado possui uma ligação sólida com os processos desde sua fabricação até sua aplicação no pavimento, seguindo normas e protocolos para garantir os requisitos solicitados pela NBR 9781 e, para a aplicação do pavimento, a NBR 15953. Além disso, destaca-se que o piso intertravado emite menos ruídos gerados pelo tráfego de veículos. Conforme uma pesquisa realizada, para uma velocidade de 35 km/h, a diferença de ruído entre ele e o asfalto é menor que 1,3 dBA, por (SILVA TASSINARI, et al). Conforme a conservação, a geração de ruídos no pavimento apresenta uma variação significativa. A uma velocidade de 50km/h em bom estado de conservação, registra-se um nível de aproximadamente 70,45 dBA, enquanto em um estado péssimo de conservação, o valor aumenta para cerca de 75,97 dBA. Esses dados evidenciam que o estado de conservação do pavimento tem impacto direto nos níveis de ruído gerados pelo tráfego. (Cima, 2016).

Além disso, a preocupação com os resíduos gerados pela construção civil é uma prioridade, e o piso intertravado tem desenvolvido alternativas para o reaproveitamento desses resíduos. Essa prática não apenas contribui para a sustentabilidade ambiental, mas também evita custos elevados associados à gestão desse tipo de resíduo (FITZ *et al.*, 2022).

A capacidade de infiltração e a redução do escoamento superficial do piso intertravado trazem enormes benefícios ao meio ambiente (APOLINARIO, DÉBORA et al, 2017). Essa característica contribui para o reabastecimento dos lençóis freáticos e aumenta o tempo de concentração das bacias urbanas. Essa extensão no tempo de concentração proporciona mais tempo para que o sistema de drenagem funcione eficientemente. Esses aspectos positivos destacam a importância do piso intertravado na promoção da sustentabilidade hídrica (SANTOS, 2017).

O paralelepípedo granítico, como uma das formas mais antigas de pavimentação, proporciona diversos benefícios no processo de infiltração e redução do escoamento superficial. Como mencionado anteriormente, devido à sua coloração clara, os paralelepípedos graníticos refletem mais luminosidade, o que contribui para a redução da temperatura e do microclima do ambiente. Isso resulta em um maior conforto térmico, demonstrando a versatilidade desse tipo de pavimento ao longo do tempo (MARCHESAN & CRUZ, 2023).

O ruído gerado pelo tráfego no pavimento em paralelepípedo granítico, segundo pesquisas realizadas, apresenta um comportamento desfavorável, tanto em bom estado quanto

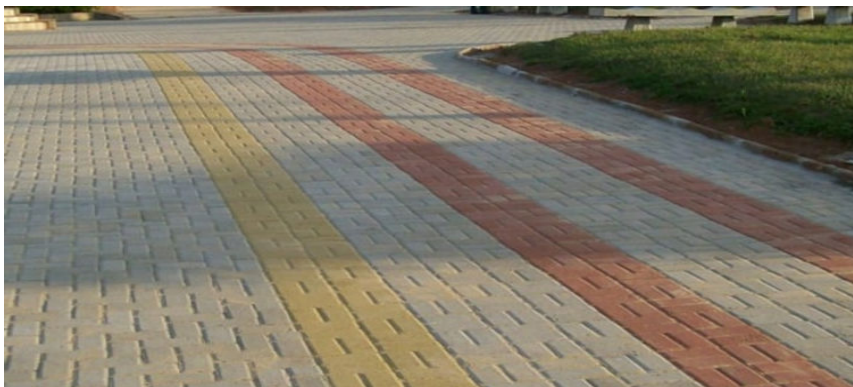
em péssimo estado de conservação. Os valores chegam a atingir 77 dBA a uma velocidade de 50 km/h (Silva Tassinari, et al.), variando de 75,54 em bom estado de conservação e 80,62 em péssimo estado de conservação segundo(CIMA, 2016). Esses resultados indicam que o pavimento em paralelepípedo pode gerar níveis significativos de ruído, especialmente em condições menos favoráveis de conservação.

A extração de paralelepípedos granítico é uma atividade que requer atenção, e sua realização deve estar em conformidade com a legislação vigente. Entre os dias 3 e 5 de abril de 2023, uma operação do Ministério do Trabalho na zona rural de Murici, Alagoas, resultou no resgate de aproximadamente 44 pessoas em situação análoga à escravidão em uma pedreira dedicada à extração desse material. A pedreira possuía licença do Instituto do Meio Ambiente (IMA) para operar sob a forma de cooperativa, mas essa cooperativa era entre os próprios proprietários da pedreira e não incluía os trabalhadores (STROPASOLAS *et al.*, 2023).

4.1.3 Estética

O piso intertravado apresenta uma enorme vantagem em relação a outros tipos de pavimentos, devido às suas variadas formas e cores. Isso permite a criação de diversos desenhos e indicações impressas no pavimento, como ilustrado na Figura 7. Essa característica é especialmente benéfica para as sinalizações no pavimento, possibilitando a criação de desenhos com diferentes cores para marcar faixas de pedestres, lombadas e outras sinalizações. Um diferencial importante é que essas marcações não perdem a cor ao longo do tempo, pois a pigmentação do piso é feita durante o processo de produção, garantindo uma maior durabilidade da coloração.

Figura 7 - Pavimento em intertravado



Fonte: Engenharia na pratica, 2023.

Os tipos de peças de concreto podem ser variados segundo (ABNT, 2013), temos 4 tipos que estão detalhados, a seguir.

Tipo I

- Retangular, com relação comprimento/largura igual a dois que se arranjam entre si nos quatro lados e podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe, conforme a Figura 8.

Figura 8 - Piso Intertravado Retangular



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Tipo II

- Formato único, diferente do retangular só podem ser assentados em fileiras, conforme a Figura 9.

Figura 9 – Piso intertravado tipo II



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Tipo III

- Formatos geométricos característicos, como trapézio, hexágonos, triedros etc., com pesos superiores a 4kg, conforme a Figura 10.

Figura 10 – Piso intertravado tipo III, sextavado



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Tipo IV

- Diferentes tamanhos ou uma única peça com juntas falsas, que podem ser utilizadas com um ou mais padrões de assentamento, conforme a Figura 11.

Figura 11 – Piso intertravado tipo IV, Raquete



Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

O pavimento em paralelepípedo granítico, por sua vez, confere uma estética clássica ao local, sendo frequentemente encontrado em bairros mais antigos e históricos (BENÍCIO, 2018). Como exemplo, temos o Coliseu, que foi concluído em 37 d.C. Não há registros específicos de quando foi realizado o calçamento, mas é conhecido que mantém paralelepípedos em toda a sua extensão, como visto na Figura 12.

Figura 12 - Pavimento em paralelepípedo no Coliseu



Fonte: Google Maps, 2023.

Além disso, o paralelepípedo granítico apresenta uma variação de coloração que depende da rocha da qual é extraído. Podemos encontrar variações de cinza, cinza fino, cinza escuro, amarelo, rosa e preto conforme Tabela 7. Essa diversidade de cores permite uma personalização estética do pavimento, adequando-se ao design desejado para o ambiente (STONE, s.d).

Tabela 7 - Tipos de paralelepípedo granítico

Granito cinza 	Granito Rosa 	Cinza escuro 
Cinza Fino 	Granito Preto 	Granito Amarelo 

Fonte: DVT STONE, 2024.

Segundo o próprio fabricante, o paralelepípedo cinza é o mais utilizado para pavimentação, como pode ser observado inclusive na coloração dos próprios pavimentos. Essa preferência muitas vezes está associada ao seu custo mais acessível (STONE, s.d).

4.1.4 Custo

Para a composição de custos, consultei os preços da execução desses serviços na tabela do SINAP (Sistema Nacional de Pesquisas de Custo e Índices da Construção Civil). Dessa forma, os valores apresentados na tabela 6 a seguir, fornecem uma base para estimar os custos associados à execução desses pavimentos.

Tabela 6 – Composição das pavimentações e manutenção

Código	Descrição do serviço	Unidade	Valor
93681 SINAPI	EXECUÇÃO DE PAVIMENTO EM PISO INTERTRAVADO, COM BLOCO RETANGULAR COLORIDO DE 20 X 10 CM, ESPESSURA 8 CM. AF_10/2022	M ²	R\$80,41
101169 SINAPI	EXECUÇÃO DE PAVIMENTO EM PARALELEPÍEDOS, REJUNTAMENTO COM ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA). AF_05/2020	M ²	R\$69,12
101864 SINAPI	REASSENTAMENTO DE BLOCOS RETANGULAR PARA PISO INTERTRAVADO, ESPESSURA DE 8 CM, EM VIA/ESTACIONAMENTO, COM REAPROVEITAMENTO DOS BLOCOS RETANGULAR - INCLUSO RETIRADA E COLOCAÇÃO DO MATERIAL. AF_12/2020	M ²	R\$27,38
101819 SINAPI	RECOMPOSIÇÃO DE PAVIMENTO EM PARALELEPÍEDOS, REJUNTAMENTO COM ARGAMASSA, COM REAPROVEITAMENTO DOS PARALELEPÍEDOS, PARA O FECHAMENTO DE VALAS - INCLUSO RETIRADA E COLOCAÇÃO DO MATERIAL. AF_12/2020	M ²	R\$53,98

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

A manutenção desses pisos também deve ser considerada ao realizar a comparação de preços conforme Tabela 7. Como o pavimento em paralelepípedo granítico é rejuntado com argamassa cimentícia, para fazer qualquer alteração requer a demolição dessas rejunte para remoção das pedras. Após a demolição, é realizado o reparo, seguido por um período de cura do pavimento. Este tempo é necessário para permitir que a argamassa seque e atinja uma resistência adequada antes que o tráfego possa ser liberado.

Tabela 7 - Execução de pavimento mais Manutenção

Descrição	Unidade	Valor
Execução de pavimentação em intertravado + Manutenção	M ²	R\$107,79
Execução de pavimentação em paralelepípedo granítico + Manutenção	M ²	R\$123,1

Fonte: Elaborada pelo autor, 2024.

Já no pavimento intertravado, a manutenção ocorre de maneira mais simples, envolvendo apenas a retirada das pedras danificadas para reparo, seja substituindo uma ou várias pedras, ou ajustando a camada de base. Após a compactação e o assentamento das pedras, a rua está pronta para utilização. No pior dos casos, a rua fica temporariamente parada apenas durante o período em que os trabalhadores estão realizando o serviço, e assim que concluído, o tráfego pode ser retomado imediatamente, evitando atrasos significativos.

4.2 BOAS PRÁTICAS E RECOMENDAÇÕES

Além disso, é fundamental realizar uma análise detalhada do local de instalação do pavimento, levando em consideração fatores como o tráfego previsto, o tipo de solo, o sistema de drenagem existente e a topografia do terreno. Isso ajudará a determinar a espessura e o tipo de camadas necessárias para suportar as cargas esperadas e garantir a estabilidade do pavimento ao longo do tempo.

A manutenção regular também desempenha um papel crucial na preservação da integridade do pavimento. Isso inclui a inspeção periódica para identificar e reparar quaisquer danos, a limpeza para remover detritos que possam obstruir a drenagem e a reposição de peças danificadas ou soltas. Ao agir rapidamente para corrigir problemas menores, é possível evitar danos mais graves e prolongar a vida útil do pavimento.

Em resumo, a execução de um bom pavimento requer planejamento cuidadoso, seguindo as normas e práticas recomendadas, além de uma manutenção regular para garantir sua durabilidade e desempenho ao longo do tempo. compactação com a placa vibratória para garantir o encaixamento das peças tanto de concreto quanto de granito.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise sobre a escolha do material para pavimentação sustentável destaca a importância de considerar todas as características e comportamentos dos pavimentos disponíveis. Tanto o intertravado quanto o paralelepípedo granítico apresentam benefícios e desafios específicos, e a decisão deve ser baseada nas necessidades do projeto, nas condições ambientais e nas preferências estéticas.

O intertravado se destaca por sua estética variada, facilidade de instalação, capacidade de infiltração e redução do escoamento superficial, redução da temperatura no micro clima uma vez que suas cores claras não absorvem a luz solar, além de gerar menos ruídos em baixas velocidades. Ele vem ganhando espaço em relação ao asfalto devido a essas características.

O paralelepípedo granítico, embora tenha perdido parte de sua popularidade para o intertravado, ainda é uma escolha válida, especialmente em novas ruas e condomínios. Suas características de infiltração, redução da temperatura e funciona como um redutor de velocidade natural, devido aos ruídos causados por trafegar em alta velocidade são pontos a serem considerados.

Portanto, a decisão entre esses pavimentos deve levar em conta as especificidades do local, os objetivos do projeto e as normativas vigentes. A sustentabilidade da pavimentação está intrinsecamente ligada à escolha consciente de materiais e métodos que respeitem o meio ambiente e atendam às demandas da comunidade.

REFERÊNCIAS

APOLINARIO, Debóra *et al.* **DRENAGEM URBANA: ANÁLISE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM DIFERENTES PAVIMENTOS**. Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2013). **NBR 9781: PEÇAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTAÇÃO: ESPECIFICAÇÃO E MÉTODOS DE ENSAIO**. RIO DE JANEIRO, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15953: PAVIMENTO INTERTRAVADO COM PEÇAS DE CONCRETO - EXECUÇÃO. Rio de Janeiro, 2011.

BASIN, MAXIMUM DISCHARGE IN URBAN HYDROGRAPHIC. **ANÁLISE DA IMPERMEABILIZAÇÃO DOS SOLOS E AUMENTO DOS PI-COS DE VAZÃO DE CHEIAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS URBANAS**, 2008.

BENICIO, Neemias. **Tipos de calçamento de ruas: asfalto ou paralelepípedo? Vantagens e desvantagens**. Eusébio Imóveis, 2018. Disponível em: <https://blog.eusebioimoveis.com/tipos-de-calcamento-de-ruas/>. Acesso em: 04 jan. 2024.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: FORMAÇÃO BÁSICA PARA ENGENHEIROS**. 3. ed. RIO DE JANEIRO: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

BLOCOS E PISOS, T. & MANUAL TÉCNICO DE PISO INTERTRAVADO DE CONCRETO. 2004.

BRAGAGNOLO, L. **CAMADAS DO PAVIMENTO INTERTRAVADO DE CONCRETO**. Concretos Florense, 1 jun. 2022. Disponível em: <https://www.concretosflorense.com.br/camadas-do-pavimento-intertravado/>. Acesso em: 05 jan. 2024

CANTARELLI, Victor de Ornellas. **Pavimento em piso intertravado de concreto**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso.

CIMA, Paulo Henrique. **Avaliação da influência do tipo de revestimento de vias urbanas de algrete quanto ao ruído no entorno e a serventia ao usuário da via**. 2016.

DA SILVA TASSINARI, Lucas Camargo et al. **ESTUDO DA EMISSÃO DE RUÍDO DE DIFERENTES PAVIMENTOS URBANOS**, 2017.

ESTRABIS, N. V. et al. **Influência da impermeabilização do solo sobre o escoamento superficial em um bairro de Campo Grande–MS**. Anais 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal-Embrapa Informática Agropecuária/INPE, Campo Grande, p. 564-574, 2014.

FRITZEN, Maycon; BINDA, Andrey Luis. **Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente**. Ateliê Geográfico, v. 5, n. 3, p. 239-254, 2011.

NUNES, Elizon Dias; ROSA, Lucas Espíndola. **Compactação e impermeabilização do solo e implicações nos canais fluviais urbanos**. Mercator (Fortaleza), v. 19, p. e19023, 2020.

PARALELOS. DVTSTONE. Disponível em: <https://www.desenvolmente.com/pt/coresde-granito.html>. Acesso em: 04 jan.2024.

PAVIMENTAÇÃO EM PARALELEPÍPEDOS. SALVADOR: DERBA, 2011.