

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia de Materiais e Construção

Cristiano Lucas Prates

**DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS: estudo de caso de um trecho de uma rua
movimentada da capital mineira na Região Noroeste**

Belo Horizonte
2023

Cristiano Lucas Prates

DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS: estudo de caso de um trecho de uma rua movimentada da capital mineira na Região Noroeste

Versão Final

Monografia de especialização apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Construção Civil.

Área: Tecnologia e Gestão do Ambiente Construído.

Orientador: Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães.

Belo Horizonte

2023

P912d

Prates, Cristiano Lucas.

Drenagem de águas pluviais [recurso eletrônico] : estudo de caso de um trecho de uma rua movimentada da capital mineira na Região Noroeste / Cristiano Lucas Prates. - 2023.

1 recurso online (67 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Aldo Giuntini de Magalhães.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil da Escola de Engenharia UFMG.

Bibliografia: f. 63-67.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Construção civil. 2. Tubos de concreto. 3. Drenagem. 4. Inundações. 5. Águas pluviais. I. Magalhães, Aldo Giuntini de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU:69



ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

ALUNO: CRISTIANO LUCAS PRATES

MATRÍCULA: 2022682178

RESULTADO

Aos 27 dias do mês de junho de 2023 realizou-se a defesa da MONOGRAFIA de autoria do aluno acima mencionado sob o título:
"DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTUDO DE CASO DE UM TRECHO DE UMA RUA MOVIMENTADA DA CAPITAL MINEIRA NA REGIÃO NOROESTE"

Após análise, concluiu-se pela alternativa assinalada abaixo:

APROVADO

APROVADO COM CORREÇÕES

REPROVADO

NOTA: 84

CONCEITO: B

BANCA EXAMINADORA:

Nome

Assinatura

Prof. Dr. Aldo Giuntini de Magalhães

Nome

Assinatura

Profª. Drª. Danielle Meireles de Oliveira

O candidato faz jus ao grau de "ESPECIALISTA EM CONSTRUÇÃO CIVIL: "GESTÃO E TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL"

Belo Horizonte, 27 de junho de 2023

Coordenador do Curso

Prof. Antonio Neves
de Carvalho Júnior

Coordenador do Curso

Cristiano Lucas Prates

DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS: estudo de caso de um trecho de uma rua movimentada da capital mineira na Região Noroeste

Monografia de especialização apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Construção Civil.

Banca examinadora:

Dr. Aldo Giuntini de Magalhães. – UFMG (Orientador)

Julgamento: _____

Dr^a Danielle Meireles de Oliveira (Banca examinadora)

Julgamento: _____

Belo Horizonte, 23 de junho de 2023.

*Dedico este estudo a Deus, minha família
e amigos pelo apoio de sempre.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que guiou meus passos, me deu oportunidades e forças para suportar até o fim.

Aos meus pais, minha companheira e filho, que sempre fizeram o máximo para que eu realizasse esse sonho e que sempre torceram pela minha felicidade.

Aos amigos, que sempre me deram apoio e proporcionaram grande troca de conhecimentos.

E aos professores, que no decorrer do curso acreditaram no meu potencial e me auxiliaram passando conhecimento e amor pelo que faziam.

Agradecimento especial ao meu orientador, que se dispôs a me ajudar e indicou todo o caminho para esse estudo.

"Na Engenharia 99% feito é igual a 0, faça as coisas 100% para que se considere
concluídas".

Ricardo Guidini

RESUMO

O presente estudo apresentou um relato de caso de uma obra emergencial que foi realizada em setembro de 2021 na rua Vila Rica, Região Noroeste da capital mineira. Antes o sistema convencional de drenagem pluvial adotado foram tubos de concretos, mas em decorrência a alagamentos que ocorriam no local foi substituído pelos tubos em PEAD como sistema não convencional, ou seja, aquela que não se encaixa no sistema convencional, adotado pela SUDECAP. Este sistema de drenagem do local desempenha um papel fundamental na prevenção de inundações urbanas. Diante deste cenário, o presente estudo tem como objetivo geral, comparar as duas modalidades de drenagem de águas pluviais relacionada ao sistema convencional usando tubos de concreto e o sistema não convencional usando tubos em PEAD, utilizando como base o estudo de caso de um trecho de uma rua movimentada da capital mineira na Região Noroeste. O presente estudo foi um estudo de caso in loco, foi forma empírica de investigar o fenômeno atual dentro de seu contexto real, sendo realizada uma triangulação de métodos de análise. Esta triangulação incluiu uma investigação documental e levantamentos das percepções por meio de visitas in loco com observação. Após contextualizado sobre o funcionamento de todo um sistema de drenagem pluvial, explicando os componentes, suas funções e características, pode ser percebido a importância de cada parte e a interdependência entre elas, bem como compreender o porquê da substituição dos tubos de concreto e em PEAD na obra em questão. Conclui-se, portanto, que a utilização dos tubos em PEAD, proporciona melhores vantagens comparada aos tubos de concreto, tais como, alta durabilidade, não vazamento, alto grau de eficiência, entre outros.

Palavras-chave: tubos em pead; tubos de concreto; drenagem pluvial.

ABSTRACT

The present study presented a case report of an emergency work that was carried out in September 2021 on Rua Vila Rica, Northwest Region of the capital of Minas Gerais. Before, the conventional rainwater drainage system adopted was concrete pipes, but due to flooding that occurred in the place, it was replaced by HDPE pipes as a non-conventional system, that is, one that does not fit the conventional system, adopted by SUDECAP. This site's drainage system plays a key role in preventing urban flooding. Given this scenario, the present study has the general objective of comparing the two types of rainwater drainage related to the conventional system using concrete pipes and the unconventional system using HDPE pipes, using as a basis the case study of a section of a busy street in the capital of Minas Gerais in the Northwest Region. The present study was an in loco case study, it was an empirical way of investigating the current phenomenon within its real context, with a triangulation of analysis methods being carried out. This triangulation included a documentary investigation and surveys of perceptions through on-site visits with observation. After contextualizing the operation of an entire rainwater drainage system, explaining the components, their functions and characteristics, the importance of each part and the interdependence between them can be perceived, as well as understanding the reason for replacing concrete and HDPE pipes in the work in question. It is concluded, therefore, that the use of HDPE pipes provides better advantages compared to concrete pipes, such as high durability, non-leakage, high degree of efficiency, among others.

Keywords: hdpe pipes; concrete tubes; rain drainage.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Sistema de drenagem: (A) Boca de lobo combinada com boca de leão simples; (B) Desenho dos ramais;(C) Caixa de drenagem; (D) Rede de drenagem..... | 23 |
| Figura 2 – Calha viária nas ruas..... | 24 |
| Figura 3 – Meio-fio..... | 25 |
| Figura 4 – Sarjeta em concreto..... | 26 |
| Figura 5 – Sarjetão..... | 26 |
| Figura 6 – Tubos..... | 27 |
| Figura 7 – Tipos de boca de lobo..... | 27 |
| Figura 8 – Alvenaria do Poço de visita..... | 28 |
| Figura 9 – Forma das galerias..... | 29 |
| Figura 10 –Tipos de encaixes entre tubos de concreto..... | 29 |
| Figura 11 – Assentamento de tubos de concreto..... | 32 |
| Figura 12 – Abertura de vala..... | 33 |
| Quadro 1 – Recobrimento mínimo das tubulações..... | 34 |
| Figura 13 – Exemplo de bacia de retenção na avenida Teresa Cristina, em BH..... | 37 |
| Figura 14 – Descida d'água..... | 39 |
| Figura 15 – Gabiões tipo caixa..... | 40 |
| Figura 16 – Gabiões tipo saco..... | 40 |
| Figura 17 – Gabiões tipo colchão Reno..... | 40 |
| Figura 18 – Esquemas de pavimentos permeáveis..... | 42 |
| Figura 19 – Poço de infiltração com tijolos..... | 42 |
| Figura 20 – Poço de infiltração com concreto furado..... | 43 |
| Figura 21 – Poço de infiltração com pneus..... | 43 |
| Figura 22 – Execução da trincheira..... | 45 |
| Figura 23 – Croqui e projeto de valeta de infiltração e retenção..... | 46 |
| Figura 24 – Armazenamento de tubos PEAD..... | 48 |
| Figura 25 – Rua Vila Rica - Local da obra..... | 50 |
| Figura 26 – Tubos em PEAD utilizados..... | 52 |
| Figura 27– Escavação até a rede existente..... | 52 |
| Quadro 2 – Comparativo: tubo em PEAD x tubo de concreto..... | 53 |

| | |
|--|----|
| Figura 28 – Limpeza da boca de lobo..... | 54 |
| Figura 29 – Abertura da Vala..... | 55 |
| Figura 30 – Corte para interceptação de caixa existente..... | 56 |
| Figura 31 – Transformação em caixa de passagem em PV..... | 57 |
| Figura 32 – Caminhão Hidrojato..... | 58 |
| Figura 33 – Carregamento no caminhão para bota-fora..... | 59 |
| Figura 34 – Compactação da vala..... | 59 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Dimensões dos tubos de concreto para águas pluviais..... | 30 |
| Tabela 2 – Classe de resistência e diâmetros para tubos simples..... | 30 |
| Tabela 3 – Dados dos tubos em concreto..... | 56 |
| Tabela 4 – Dados dos tubos em PEAD..... | 57 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|--|
| ABCP | Associação Brasileira de Cimento Portland |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABTC | Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto |
| a.C. | Antes de Cristo |
| CEA | <i>Cracking</i> por estresse ambiental |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| DOT | Departamento de Transporte de Iowa |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| NBR | Norma brasileira |
| PBH | Prefeitura de Belo Horizonte |
| PE | Polietileno |
| PEAD | Polietileno de alta densidade |
| PV | Poço de visita |
| SUDECAP | Superintendência de Desenvolvimento da Capital |
| TCA | Tubo de concreto armado |
| TCS | Tubo de concreto simples |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| INTRODUÇÃO | 16 |
| CAPÍTULO 1 – SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA | 19 |
| 1.1 Contextualização Histórica | 19 |
| 1.2 Sistema de drenagem pluvial urbana convencional | 22 |
| 1.2.1 Microdrenagem | 22 |
| 1.2.2 Calha viária das ruas | 23 |
| 1.2.3 Guias | 24 |
| 1.2.4 Sarjeta ou valeta | 25 |
| 1.2.5 Sarjetões e/ou rasgos | 26 |
| 1.2.6 Tubos de ligação e caixa de ligação | 26 |
| 1.2.7 Bocas de lobo | 27 |
| 1.2.8 Poço de visita | 28 |
| 1.2.9 Galerias | 28 |
| 1.2.10 Tubos de concreto | 29 |
| 1.2.10.1 Execução de assentamento de tubo de concreto | 32 |
| 1.2.10.2 Escavação de vala | 32 |
| 1.2.10.3 Fundo de vala e assentamento | 34 |
| 1.2.10.4 Rejuntamento | 35 |
| 1.2.10.5 Reaterro | 35 |
| CAPÍTULO 2 – SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA NÃO CONVENCIONAL | 36 |
| 2.1 Bacias de detenção | 37 |
| 2.2 Descidas d'água | 38 |
| 2.3 Gabião | 39 |
| 2.4 Pavimentos permeáveis | 41 |
| 2.5 Poços de Infiltração | 42 |
| 2.6 Trincheiras de infiltração | 44 |
| 2.7 Valas e valetas de infiltração e detenção | 45 |
| 2.8 Tubos em PEAD | 47 |
| CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO | 50 |
| 3.1 Relato da pesquisa | 50 |

| | |
|--|-----------|
| 3.2 Metodologia de obtenção dos dados..... | 51 |
| 3.3 Resultados obtidos e análise dos dados | 52 |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS | 61 |
| REFERÊNCIAS..... | 63 |

INTRODUÇÃO

Os efeitos danosos das águas pluviais durante os períodos chuvosos, na capital mineira, são bastante conhecidos. Comumente, neste período, há ocorrência de enchentes e problemas recorrentes das chuvas em Belo Horizonte, como, alterações no cotidiano das pessoas, impacto na economia dos países, danos à infraestrutura, chegando em alguns casos à perda de vidas humanas (DIAS, 2014).

Desde os primórdios da civilização e na solução deste quadro foram desenvolvidas técnicas de drenagem, as quais buscavam eliminar ou ao menos atenuar os efeitos danosos das águas das chuvas e com isso, os outros problemas decorrentes as águas pluviais nos períodos chuvosos.

Ao longo de muitos anos, acreditou-se que as chamadas técnicas de drenagem convencionais eram as mais eficazes. De fato, as sarjetas, bocas de lobo, poços de visita e condutos responsáveis pela canalização das águas pluviais e pelo seu desague (normalmente no local mais afastado possível da cidade), mesmo com seus diversos problemas, pareciam ser as únicas alternativas viáveis para a questão das águas pluviais.

Todavia, atualmente têm-se conferido bastante atenção às denominadas técnicas de drenagem não convencionais ou técnicas de drenagem alternativas. Estes procedimentos, embora ainda pouco utilizados se comparados aos convencionais, têm despertado o interesse dos profissionais ao proporem a diminuição da vazão do escoamento superficial por meio da redução do volume precipitado e da erosão da superfície, além de apresentarem a possibilidade de serem empregadas em conjunto com as convencionais.

É sabido que diante dos problemas recorrentes é essencial que a captação e encaminhamento desta água sejam realizados utilizando técnicas de drenagem para o bom funcionamento deste sistema. Para isso, na delimitação deste estudo foram analisadas as técnicas convencionais referente ao tubo de concreto e as não convencionais usando os tubos em polietileno de alta densidade (PEAD)¹. Assim, levantou-se a seguinte questão norteadora: Entre as técnicas, vai ser demonstrado/

¹ Trata-se de um plástico rígido, resistente à tração, tensão, compressão e com moderada resistência ao impacto. Dessa forma, a tubulação de PEAD é bastante indicada para transporte de água e esgoto.

explicado qual o melhor tubo a ser utilizado em determinadas obras de drenagem que resolverá as demandas encontradas.

Deste modo, é essencial comparar tanto as técnicas como os métodos para determinar as vantagens e desvantagens no uso de cada método, bem como suas características e funcionalidades.

Sabendo a importância da escolha tanto da melhor técnica como do método da drenagem pluvial, justifica-se a escolha desse tema por ser de relevância técnica se tratando de uma abordagem atual relacionado à Administração Pública de Belo Horizonte. Nesse sentido ainda, se têm a relevância social deste estudo que está nos benefícios dessa escolha, de modo que se possa evitar problemas recorrentes das chuvas. Ademais, é um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade belo-horizontina a muito tempo, cujos danos são causados pela má administração das águas das chuvas. Embora as técnicas de drenagem convencionais tenham contribuído para uma importante melhoria deste quadro, estas não foram capazes de solucioná-lo em todas as situações. Por sua vez, as técnicas de drenagem compensatórias ou alternativas são apresentadas como uma solução, embora sua origem recente, em alguns casos, dificulte a sua implementação, além de suscitar dúvidas a respeito de sua real eficiência.

Tomando como base esta questão, o presente estudo tem o objetivo geral de comparar as duas modalidades de drenagem de águas pluviais relacionada ao sistema convencional usando tubos de concreto e o sistema não convencional usando tubos em PEAD, utilizando como base o estudo de caso de um trecho de uma rua movimentada da capital mineira na Região Noroeste. Para tanto foram necessários os seguintes objetivos específicos: expor as características e funcionalidade do sistema convencional e do sistema não convencional; avaliar a eficiência dos sistemas estudados; identificar e analisar o tipo de tubulação utilizada no estudo de caso e se alguma vez foi substituída.

Este estudo foi estruturado em 3 capítulos, onde, no primeiro, apresentou-se uma síntese sobre a história do sistema de drenagem para adentrar no tema e percorrido o sistema de drenagem urbana convencional, com enfoque em tubos de concreto.

O capítulo dois enfatizou o sistema de drenagem pluvial urbana não convencional, ou seja, aquela que não se encaixa no sistema convencional, adotado

pela Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP), com enfoque em tubos em PEAD.

Já capítulo três contemplou a parte prática desse estudo, sendo apresentado o relato do caso, a metodologia de obtenção dos dados, finalizando com apresentação dos resultados obtidos e análise dos dados.

CAPÍTULO 1 – SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA

1.1 Contextualização Histórica

O sistema de drenagem é uma infraestrutura de grande importância para as cidades. Conforme Tucci (2005, p. 16), "a drenagem urbana consiste na rede de coleta da água (e de resíduos sólidos), que se origina da precipitação sobre as superfícies urbanas, e no seu tratamento e no retorno aos rios".

O objetivo da drenagem é promover o retardamento dos escoamentos, de forma a aumentar os tempos de concentração e reduzir as vazões máximas; além disso, amortecer os picos e reduzir os volumes de enchentes por meio da retenção em reservatórios; e conter, tanto quanto possível, o *run-off* no local da precipitação, pela melhoria das condições de infiltração, ou ainda em tanques de contenção (CANHOLI, 2014).

Curiosamente, mesmo com sua grande importância, a drenagem foi relegada por um grande período da história da humanidade. Os primeiros sistemas de drenagem surgiram há 5.000 anos e apenas nos últimos 150 anos é que se notaram avanços significativos, devido aos problemas e desafios gerados pelo crescimento populacional nas cidades. Estes surgiram, em parte, pelo fato de, dos tempos mais remotos até a Idade Moderna, os dispositivos de drenagem não serem necessariamente considerados partes fundamentais dos sistemas de infraestruturas necessárias para o desenvolvimento urbano (MATOS, 2003).

Exceções são cidades como Mohenjo Daro no atual Paquistão Ocidental, que segundo Webster (1962 apud MATOS, 2003, p. 14), já nos anos 3.000 a.C., contava com sistemas de drenagem com coletores principais e drenos destinados à drenagem das vias. Além desta, de acordo com Maner (1966 apud MATOS, 2003, p. 14), a civilização mesopotâmica nos anos 2500 a.C., desenvolveu nas cidades de Ur e Babilônia, uma espécie de sarjetas e sumidouros para recolher as águas pluviais e direcioná-las para coletores.

Uma das mais importantes obras de drenagem da Antiguidade foi a Cloaca Máxima de Roma. Conforme a cidade e a população cresciam tornava-se necessário um sistema de drenagem e uma rede de saneamento para garantir a higiene e a segurança das ruas e construções contra as inundações (HOPKINS, 2007).

Foi, então, que se dimensionou a Cloaca Máxima, durante o governo de Tarquínio Prisco (616 a.C. - 579 a.C.). Para a construção desta estrutura, foram utilizados os impostos pagos pela população e depois de construída, se estendeu por toda a cidade: do Campo de Marte, partiam duas cloacas que ligavam o Panteão ao Pórtico de Otávia e este ao Tibre; do Monte Capitolino partia uma ligação até o Monte Pinciano e depois ao Tibre; o Cárcere e os Templos de Saturno e Castor eram conectados por um sistema, bem como o Circo Máximo, o qual foi conectado ao Coliseu e provavelmente às Termas de Caracala (HOPKINS, 2007).

Segundo evidências históricas, nos séculos posteriores a manutenção dos sistemas de drenagem na maioria dos casos era impulsionada pelas consequências do aumento significativo da população nos polos urbanos. Em Portugal, por volta do século XV, o rei D. João II, por decorrência da peste, mandou realizar a limpeza dos “canos” destinados a drenagem das águas da chuva, pois nos mesmos se encontravam todo tipo de esterco e imundices produzidas pela população aglomerada de maneira descontrolada (MATOS, 2003).

Não ocorreram muitos progressos relacionados as técnicas de drenagem no período da Antiguidade Tardia até o Iluminismo. A industrialização, a urbanização e a globalização das cidades, bem como os surtos de cólera ocorridos no século XIX, foram fatores que garantiram o desenvolvimento de melhores métodos de suprimento de água e técnicas sanitárias (ABELLÁN, 2017).

Foram, então, construídos sistemas de encanamento de água de grandes dimensões, aos quais as construções foram conectadas, bem como criados métodos químicos, mecânicos e biológicos de tratamento dos esgotos nas grandes cidades europeias. Neste período, também, ocorreram grandes avanços na forma como as águas passaram a ser direcionadas: os sistemas unitários e, posteriormente, os sistemas separadores parcial e absoluto (ROCHA, 2016).

Conforme Silveira (2002), o sistema unitário, caracterizado pela utilização de um mesmo conduto tanto para as águas pluviais quanto para as cloacais, popularizou-se pelo mundo, o que fez com que muitas cidades, em especial as capitais europeias, construíssem redes subterrâneas unitárias de esgoto. Paris tornou-se uma referência mundial pela sua rede de esgoto construída pelo prefeito Georges-Eugène Haussmann (1809-1891), no período das reformas urbanas ordenadas pelo imperador Napoleão III (1808-1873).

Embora tenha gerado bons resultados, este método apresentava alguns inconvenientes, como: a necessidade de seções de escoamento relativamente grandes, com galerias e estruturas especiais de grande porte, de construção difícil e dispendiosa; a dificuldade, ou até mesmo impossibilidade, de execução das obras por etapas; a dificuldade de se controlar ou evitar a poluição dos corpos receptores, o que torna mais caras as estações de tratamento; a inadequabilidade para climas tropicais, caracterizados por precipitações mais intensas (NUVOLARI, 2014).

Em 1879, foi desenvolvido o sistema separador absoluto na cidade de Memphis no Tennessee, EUA. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – NBR 9648, este método é um “conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente esgoto sanitário, a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro.” (ABNT,1986).

Em comparação com o sistema unitário, o novo método apresentava como vantagens: a possibilidade de canalizações com dimensões menores que favorecia o uso de manilhas cerâmicas e outros materiais e facilitava a execução, além de diminuir os custos e prazos de construção; a possibilidade de execução das obras por partes, podendo a rede de maior importância ser construída primeiro e depois estendida, com menor investimento inicial; a maior facilidade de afastamento das águas pluviais, com lançamentos múltiplos em locais mais próximos e aproveitando-se o escoamento nas sarjetas; a melhora nas condições de tratamento do esgoto, além de se evitar a contaminação das águas receptoras (AZEVEDO NETTO, 2000).

O bom desempenho do sistema separador absoluto fez com que o engenheiro, Saturnino de Brito (1864-1929) defendesse o seu uso na obra, Saneamento de Santos, de 1898. Sob sua influência, esta metodologia difundiu-se pelas cidades brasileiras, sendo utilizada até os dias atuais. Neste período, passou a imperar o denominado conceito sanitário-higienista, que defendia a canalização das águas servidas para o mais longe possível das cidades, no menor tempo possível. Foi somente nos anos 1960 que ele passou a ser questionado, quando a consciência ambiental expôs suas limitações em relação aos conflitos ambientais entre as cidades e o ciclo hidrológico (SILVEIRA, 2002).

Neste contexto surgiu, então, o conceito ambiental, que propunha a utilização de soluções alternativas e complementares à simples canalização das águas

servidas, por meio das chamadas técnicas de drenagem alternativas, também chamadas de técnicas compensatórias ou técnicas não-convencionais, sendo esta última definição a empregada neste trabalho (SILVEIRA, 2002).

1.2 Sistema de drenagem pluvial urbana convencional

Relacionado a rede primária urbana, conforme Baptista, Nascimento e Barraud (2011), o sistema de drenagem de condutos pluviais estabelece a ligação entre os mecanismos de drenagem superficial e os mecanismos de macro e mesodrenagem, reunindo e transportando a água captada que escoo pela sarjeta provenientes das bocas-de-lobo (dimensão mínima –60 centímetros) ou caixas coletoras (profundidade mínima – 1 metro).

Um sistema de coleta de água pluvial é composto por tubulações subterrâneas, construídas com o objetivo de transportar, de modo seguro e conveniente, as águas de chuva das áreas urbanas até os corpos d'água. Este sistema apresenta três componentes principais, sendo a estrutura de entrada, projetada para permitir a afluência das águas pluviais no sistema de coleta; a tubulação, cujo propósito é transportar as águas pluviais até o corpo receptor; e o muro de contenção, que permite que as águas pluviais saiam do sistema (GRIBBIN, 2014).

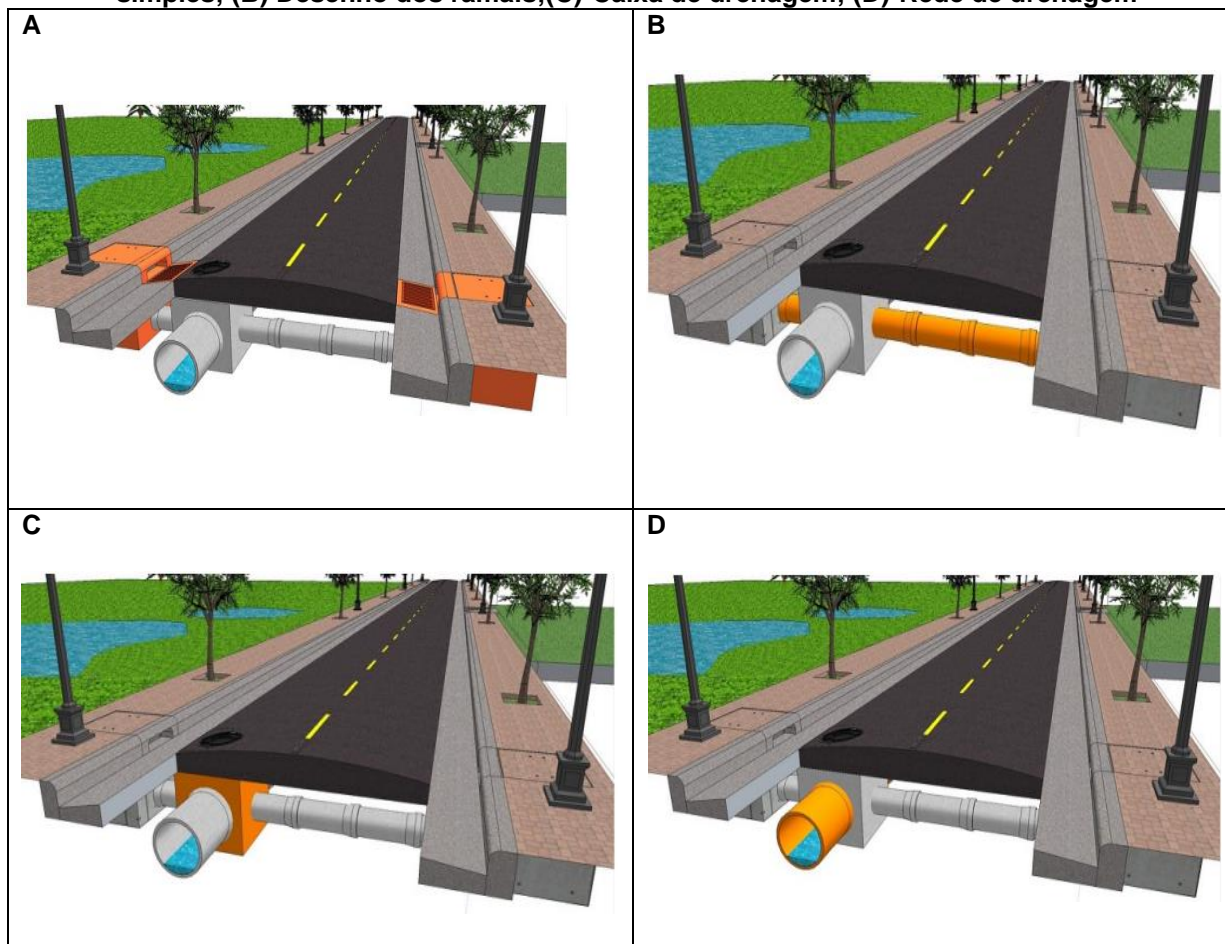
Em relação aos sistemas clássicos ou convencionais, Baptista, Nascimento e Barraud (2011) informaram que são compostos basicamente de dispositivos de microdrenagem, tais como: microdrenagem; calha viária das ruas; guias; sarjetas; sarjetões e/ou rasgos; tubos de ligação; bocas de lobo; e por fim, poço de visita, sendo apresentados a seguir.

1.2.1 Microdrenagem

Macro-drenagem (galerias tubulares com dimensões iguais ou superiores a 0,30 m e inferiores a 1,20 m de diâmetro e galerias celulares cuja área da seção transversal é inferior a 1 m²), é o sistema de drenagem o qual “compreende, basicamente, os principais canais de veiculação das vazões, recebendo, ao longo de seu percurso, as contribuições laterais e a rede primária urbana provenientes da microdrenagem” (IBGE, 2011, p. 260).

A Figura 1 apresenta um esquema da disposição dos elementos do sistema de microdrenagem.

Figura 1 – Sistema de drenagem: (A) Boca de lobo combinada com boca de leão simples; (B) Desenho dos ramais; (C) Caixa de drenagem; (D) Rede de drenagem



Fonte: Adaptado a partir de Moraes (2015).

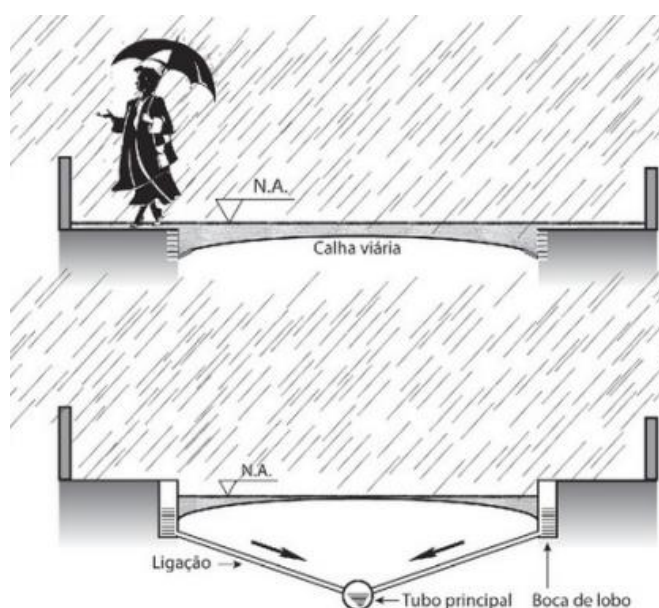
Este, é responsável pelo direcionamento das águas superficiais que chegam aos pavimentos e são conduzidos até seu desague ou um sistema de macrodrenagem. Esse sistema é constituído por sarjetas, bocas de lobo e condutos (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011). Além destes, também pelos sarjetões e poços de visita (TUCCI *et al.*, 2007).

1.2.2 Calha viária das ruas

A calha viária (Figura 2) é o primeiro componente que recebe o caudal² e o direciona para a sarjeta (BOTELHO, 2011).

² Caudal: “volume de determinado líquido que passa por uma determinada seção de um conduto livre ou forçado, por uma unidade de tempo.” (BRASIL, 2017, p. 67).

Figura 2 – Calha viária nas ruas



Fonte: Botelho (2011).

As seções da calha podem ser categorizadas como tipo de vala convencional ou rasa. As calhas convencionais podem, uma inclinação transversal composta onde a inclinação da calha varia da inclinação transversal do pavimento ou uma seção parabólica. As calhas rasas normalmente têm seções em forma de V ou circulares, respectivamente, e são frequentemente usados em áreas medianas pavimentadas em estradas com coroas invertidas (BROWN; STEIN; WARNER, 2001).

1.2.3 Guias

Segundo Tucci *et al.* (2007, p. 823), os “elementos de pedra ou concreto, colocados entre o passeio e a via pública paralelamente ao eixo da via e com sua face superior no mesmo nível do passeio”, sendo também conforme afirmou Botelho (2011) chamadas de meio-fio.

Os meios-fios são normalmente usados na borda externa dos pavimentos para instalações em vias urbanas e rodovias de baixa velocidade e em alguns casos adjacentes a acostamentos em instalações de velocidade moderada a alta (BROWN; STEIN; WARNER, 2001).

A Figura 3 demonstra a imagem dos tipos de meios-fios que são implantados em uma via pública.

Figura 3 – Meio-fio

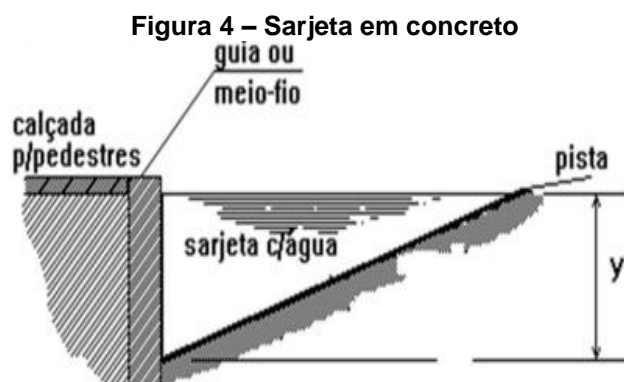
Fonte: Rodrigues (2020)³.

Estes, servem para os seguintes propósitos: conter o escoamento superficial dentro da estrada e longe das propriedades adjacentes; evitar a erosão em taludes de aterro; fornecer delineamento do pavimento; permitir o desenvolvimento ordenado de propriedades adjacentes à estrada. As calhas formadas em combinação com meios-fios estão disponíveis em 0,3 a 1,0 metro de larguras. Uma combinação de meio-fio e sarjeta forma um canal triangular que pode transportar escoamento igual ou menor do que o fluxo de projeto sem interrupção do tráfego. Quando ocorre um fluxo de projeto, há uma propagação ou alargamento da superfície da água transportada. A água se espalha para incluir não só a largura da sarjeta, mas também faixas de estacionamento ou acostamentos e partes da superfície percorrida (BROWN; STEIN; WARNER, 2001).

1.2.4 Sarjeta ou valeta

A sarjeta ou valeta (Figura 4) é o componente que liga o pavimento à guia do meio fio, a qual se localizam nas extremidades das ruas e avenidas beirando o meio fio. Pode ser feita de concreto moldado in loco ou por paralelepípedos argamassados (areia e cimento). É importante que esteja no nível mais baixo que a via, de forma que possa conduzir a água até os bueiros (BOTELHO, 2017).

³ Disponível em: <<https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2020/10/08/detalhes-no-cuidado-com-as-cidades/>>. Acesso em: 22 junho 2023.



Fonte: Fernandes (2002).

A água pluvial das vias públicas é recebida pela calha formada para serem direcionada a outro dispositivo (TUCCI *et al.*, 2007).

1.2.5 Sarjetões e/ou rasgos

Nos pontos baixos de determinada região, acumula-se água em excesso. O sarjetão (Figura 5) é implantado transversalmente, a fim de coletar a água e não deixar que o pavimento se deteriore em decorrência do seu excesso (BOTELHO, 2017).



Fonte: Infraestrutura Urbana (2018)⁴.

1.2.6 Tubos de ligação e caixa de ligação

Os tubos de ligação são dispositivos que captam as águas provenientes das bocas de lobo e as direcionam para as galerias, poços de visita ou caixas de ligação (TUCCI *et al.*, 2007).

⁴ Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/6/1-sarjetoes-deconcreto-armado-227269-1.aspx>>. Acesso em: 22 junho 2023.

A figura 6 traz uma imagem de um sistema tubular.

Figura 6 – Tubos



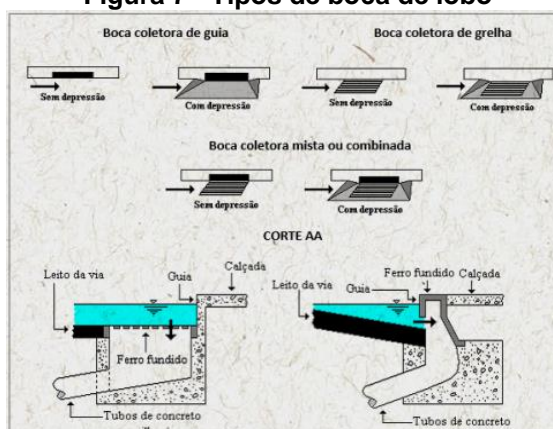
Fonte: Caparaó (2020)⁵.

No recebimento dos tubos de ligação das bocas de lobo intermediárias são usadas as caixas de ligação, além de também, elas evitarem o excesso de ligações no mesmo poço de visita, sendo, porém, não visitáveis (TOMAZ, 2012).

1.2.7 Bocas de lobo

As bocas de lobo conforme destacaram Tucci *et al.* (2007, p. 823), são “dispositivos localizados em pontos convenientes nas sarjetas para captação das águas pluviais”. Na Figura 7 pode-se observar a representação dos métodos construtivos de bocas de lobo.

Figura 7 - Tipos de boca de lobo

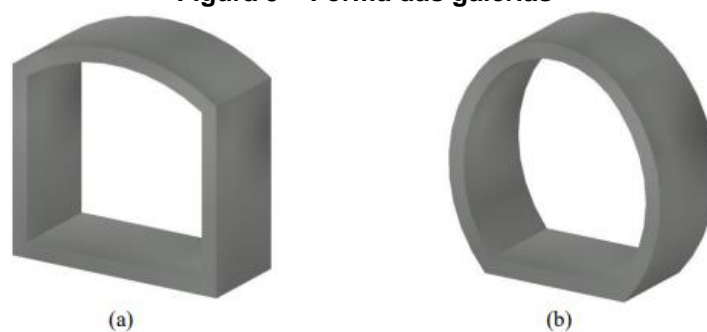


Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico (2016)⁶.

⁵ Disponível em: <<https://www.agorams.com.br/obras-de-drenagem-urbana-impactam-infraestrutura-do-jardim-adonai-em-caarapo/>>. Acesso em: 02 mar. 2023.

⁶ Disponível em: <file:///C:/Users/abnt_/Downloads/72c03623-99ee-40d8-b1e8-107c182daf8e.pdf>. Acesso em: 22 junho 2023.

Figura 9 – Forma das galerias

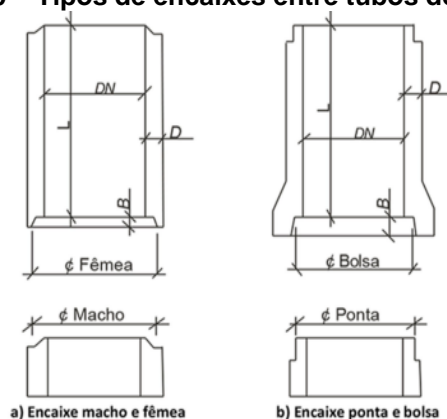


Fonte: Domingues (2017).

1.2.10 Tubos de concreto

Conforme a Associação Brasileira dos Fabricantes de Tubos de Concreto (ABTC, 2023), os tubos de concreto são peças circulares pré-moldadas em concreto, com encaixe tipo macho fêmea ou ponta bolsa, ilustrado a seguir.

Figura 10 – Tipos de encaixes entre tubos de concreto



Fonte: NBR 8890 (ABNT, 2008)

Como opção para a drenagem convencional, os tubos em concreto ou manilhas de concreto, aduelas ou tubos de galerias são comumente os mais empregados em obras de drenagem pluvial urbana, uma vez que tem como principal característica a resistência mecânica, bem como a disponibilidade de fornecimento. Além disso, é uma alternativa viável tanto no aspecto econômico como técnico (DOMINGUES, 2017).

Conforme determinou a ABNT, a normalização dos tubos de concreto – NBR 8890, titulada como: “Tubo de Concreto de Seção Circular para Águas Pluviais e Esgotos Sanitários - Requisitos e métodos de ensaios”, indicou que esse tipo de

tubos destinada para a drenagem de águas pluviais, sendo fabricados armado ou não armado e em diversos diâmetros (ABNT, 2020).

Importante diferenciar o tubo de concreto armado (TCA) do tubo de concreto simples (TCS). O primeiro é reforçado estruturalmente com barras ou telas de aço soldadas e o TCS é sem reforço estrutural. Para águas pluviais, conforme a NBR 8890, os tubos possuem as seguintes nomenclaturas: para TCA com armação (PA1, PA2, PA3 e PA4); para TCS sem armação (PS1 e PS2), com diâmetro de 200 a 600 mm (ABNT, 2020).

As medidas destas peças devem ser conforme a vazão necessária, a especificidade e a resistência mecânica necessária, cujos dados estão ilustrados nas Tabelas 1, e 2.

Tabela 1 – Dimensões dos tubos de concreto para águas pluviais

| Diâmetro nominal DN | Comprimento útil do tubo L | | Comprimento mínimo da bolsa ou da fêmea B | | Folga máxima do encaixe C | Espessura mínima de parede D* | |
|---------------------|----------------------------|---------------|---|---------------|---------------------------|-------------------------------|--------|
| | Ponta e Bolsa | Macho e Fêmea | Ponta e Bolsa | Macho e Fêmea | | Simples | Armado |
| 200 | 1000 | 950 | 50 | 20 | 30 | 30 | - |
| 300 | 1000 | 950 | 60 | 20 | 30 | 30 | 45 |
| 400 | 1000 | 950 | 65 | 20 | 30 | 30 | 45 |
| 500 | 1000 | 950 | 70 | 20 | 40 | 40 | 50 |
| 600 | 1000 | 950 | 75 | 20 | 40 | 50 | 60 |
| 700 | 1000 | 950 | 80 | 35 | 40 | 55 | 66 |
| 800 | 1000 | 950 | 80 | 35 | 40 | - | 72 |
| 900 | 1000 | 950 | 80 | 35 | 40 | - | 75 |
| 1000 | 1000 | 950 | 80 | 35 | 50 | - | 80 |
| 1100 | 1000 | 950 | 80 | 35 | 50 | - | 90 |
| 1200 | 1000 | 950 | 90 | 35 | 50 | - | 96 |
| 1300 | 1000 | 950 | 90 | 35 | 50 | - | 105 |
| 1500 | 1000 | 950 | 90 | 35 | 60 | - | 120 |
| 1750 | 1000 | 950 | 100 | 35 | 60 | - | 140 |
| 2000 | 1000 | 950 | 100 | 35 | 60 | - | 180 |

Fonte: NBR 8890 (ABNT, 2007).

Tabela 2 – Classe de resistência e diâmetros para tubos simples

| DN | Água pluvial | | Esgoto sanitário |
|--|------------------------------|-----|------------------------------|
| | Força mínima de ruptura kN/m | | Força mínima de ruptura kN/m |
| Classe | PS1 | PS2 | ES |
| 200 | 16 | 24 | 36 |
| 300 | 16 | 24 | 36 |
| 400 | 16 | 24 | 36 |
| 500 | 20 | 30 | 45 |
| 600 | 24 | 36 | 54 |
| Força diametral de ruptura kN/m | | | |
| Qd | 40 | 60 | 90 |

Nota: para tubo simples com diâmetro igual ou menor que 400 mm, a força mínima de ruptura é o correspondente a este valor.

Fonte: NBR 8890 (ABNT, 2007).

Vale salientar que devido aos variados diâmetros existentes, torna-se de valia na elaboração de projetos de drenagem urbana, tanto no aspecto técnico como econômico (DOMINGUES, 2017). A NBR 8890 (ABNT, 2007), igualmente definiu diâmetros nominais e comprimento útil permitido para cada tipo de tubo ilustrado abaixo.

Os tubos de concreto são considerados pela ABTC (2023), como a melhor solução para drenagem de águas pluviais devido a outras importantes características, tais como, confiabilidade, normalização, qualidade, funcionalidade, desempenho, manutenção e limpeza. Logo, é necessário preservar as vantagens do tubo de concreto armado por meio do advento de avanços tecnológicos e inovações que possam impulsionar seu desempenho e diminuir a distância entre as necessidades do mercado e os padrões atuais.

No entanto, embora sejam bastante usados nas obras de drenagem de águas pluviais, os tubos de concreto têm chances de deformação, ainda que pequena, antes de ruptura ao ser submetido a tração. Devido a isso, tornam-se frágeis. A rigidez do solo circundante resultante do nível de compactação oferece resistência à deformação do tubo. Isso também é conhecido como efeito de arco positivo. Consequentemente, a instalação de tubos flexíveis é mais rigorosa do que para tubos de concreto em termos de geometria da vala e esforço de compactação dos materiais de aterro. No entanto, o mal-entendido comum sobre as diferenças nos requisitos de instalação entre tubos flexíveis e rígidos geralmente coloca os tubos de concreto em desvantagem (WONG; NEHDI, 2018).

A resistência do tubo é uma maneira comum de classificar tubos de concreto. A classe reflete os valores de carga normalizados ou é apresentada por um número de categoria sequencial ou em ordem alfabética. Além disso, a indústria de tubos de concreto tem promovido uma vida útil de projeto de até 100 anos. Tubos de concreto podem ser submetidos a contrações térmicas, encolhimento, fluência, lixiviação, ataque de sulfato, ciclo de congelamento e degelo, reações de álcali-agregado, corrosão biogênica e corrosão induzida por íons cloreto, efeitos bacterianos, abrasão e carga mecânica sustentada (WONG; NEHDI, 2018).

Há dois tipos de juntas que são usados para o encaixe da tubulação, elásticas ou rígidas. A primeira utiliza anéis de borracha na extremidade do tubo, de forma a garantir uma melhor estanqueidade no transporte de água. Já na segunda, tem

como característica principal o rejuntamento com argamassa de cimento e areia nos encaixes dos tubos, sendo essa, muito utilizado em obras de drenagem pluvial (LIBERATO, 2015).

1.2.10.1 Execução de assentamento de tubo de concreto

Ao executar as especificações de um projeto de drenagem pluvial é fundamental estar atento ao que foi descrito e sobretudo as instruções dos fabricantes das tubulações definidas, assim como as normas da ABNT. Na drenagem de água pluvial esse tipo de tubos pode ser usado, cujas redes encontram-se em aterros ou valas aos quais em ambos os casos, todo seu corpo cilíndrico deve estar apoiado uniformemente. Desta forma, a acomodação estará a contento, evitando assim, centralizar tensões nas tubulações (RELVAS; GIMENEZ; SEGNINI, 2004).

A ilustração apresentada na Figura 11 mostra como é executado o assentamento das manilhas de concreto.

Figura 11 – Assentamento de tubos de concreto



Fonte: Terraplanagens Engenharia e Construções (2023)⁸.

1.2.10.2 Escavação de vala

Na execução de um projeto de drenagem pluvial urbana, este só iniciará após comunicado junto ao órgão municipal. Já execução da obra, segundo estabelece a NBR 17015 (ABNT,2022), inicialmente deve ser o removido o pavimento e determinar

⁸ Disponível em: <<https://mpterraplenagem.com.br/drenagem-com-manilhas/>>. Acesso em: 22 junho 2023.

quais os equipamentos serão usados. Deve haver conformidade entre o tipo de material de pavimentação e a localização da cava (PAULA *et al.*, 2017).

Os equipamentos utilizados para escavação devem ser apropriados conforme o tipo. Na execução do projeto, deve respeitar tanto os alinhamentos como as cotas. Na escavação das valas, estas devem ser segundo a linha de eixo e abertas em direção da jusante para montante com início nos pontos de lançamento conforme NBR ISO 21138-1 (ABNT, 2021).

Na escavação mecânica de valas e poços, a profundidade, a largura, método escolhido e o escoramento devem ser baseadas nas características do solo. Havendo excesso de escavação ou desnível no fundo da vala, a deposição de material granular fino deve ser realizada para compactar essa regularização. Segundo a NBR 15645 (ABNT, 2020), nos pontos indicativos aos poços de visita, a medida interna livre das cavas deve ter mínimo a “dimensão externa da câmara de trabalho somando-se mais 0,60 m” (PAULA *et al.*, 2017, p.213).

A ilustração apresentada na Figura 12 mostra uma abertura de vala já realizada.

Figura 12 – Abertura de vala



Fonte: PBH (2022)⁹.

Importante salientar que todo o material removido deve estar a 1 m de distância do local da borda de escavação, sob a responsabilidade da fiscalização. A

⁹ Disponível em:

<file:///C:/Users/abnt_/Downloads/Cap%C3%ADtulo4_Microdrenagem%20e%20Controles%20Regionais_0.pdf>. Acesso em: 22 junho 2023.

estabilidade deve ocorrer, sobretudo em valas cuja profundidade seja superior a 1 m e 25 cm. Para isso, devem haver estruturas dimensionadas, além de escadas ou rampas colocadas próximas aos locais de trabalho, com a finalidade de uma saída rápida dos operários em caso de emergência conforme NBR ISO 21138-1 (ABNT, 2021).

Todavia, a largura da vala pode variar conforme a profundidade. No caso de haver profundidades superiores a 4 m, caberá ao elaborador do projeto definir a dimensão e explicitá-la neste planejamento específico da obra. Entretanto, se não houver projeto, deve ser realizado o cálculo com o acréscimo de 0,10 m na largura a cada metro adicional de profundidade conforme a NBR 12266 (ABNT, 1992). Além disso, a profundidade mínima de valas deverá ser determinada possibilitando o recobrimento das tubulações, de forma a atender às condições exibidas no Quadro 1.

Quadro 1 – Recobrimento mínimo das tubulações

| Topo de pavimento | Recobrimento (m) |
|---|------------------|
| Valas sob passeio com meio – fio definido | 0,40 |
| Valas sob passeio sem meio-fio definido | 0,60 |
| Valas sob via pavimentada ou com greide definido por meio-fio e sarjeta | 1 |
| Valas sob via de terra ou com greide indefinido | 1,20 |

Fonte: Adaptado a partir da NBR 9814 (ABNT, 1987).

1.2.10.3 Fundo de vala e assentamento

É fundamental regularizar o fundo da vala, de modo que este não tenha reentrâncias e saliências. Todavia, frente as possíveis reentrâncias existentes, estas devem ser preenchidas adequadamente com material. Conforme a NBR ISO 21138-1, o preenchimento no caso do solo rochoso (rocha decomposta, pedras soltas e rocha viva) deve ser realizado com material inverso a pedras, ou seja, não contenha areia de no mínimo 15 cm sob os tubos (ABNT, 2021).

Quando os tubos forem assentados nas valas, estes deverão ter dimensões compatíveis com seu diâmetro permitindo a montagem, rejuntamento no caso de junta rígida e reaterro compactado da vala. As valas deverão ser abertas sempre de jusante para montante com acompanhamento topográfico e seguindo as cotas,

alinhamentos e perfis longitudinais estipulados em projeto. Os escoramentos, quando necessários, são determinados através de estudos geotécnicos em função da estabilidade do solo e profundidade da vala (RELVAS; GIMENEZ; SEGNINI, 2004).

No assentamento da tubulação, esta deve ter uma breve recurvação por toda a extensão do eixo da vala. Deste modo, isso possibilitará posteriormente a dilatação sem causar prejuízo para o sistema (ABNT, 2021).

1.2.10.4 Rejuntamento

Conforme determinações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), logo após a tubulação ser assentada, o rejuntamento nos tubos de concreto deve ser realizado com argamassa de cimento e areia no traço de 1:4, nos encontros das pontas com as bolsas das manilhas (BRASIL, 2006).

No entanto, acaso a rede ter uma junta elástica, é importante analisar o posicionamento adequado dos anéis de borracha e, se após o acoplamento, não há a precisão de fazer o rejuntamento. Mas, acaso os tubos possuam junta rígida, o rejuntamento pelo lado externo, usando como material a argamassa de cimento e areia após o acoplamento. Para tubos com diâmetro nominal interno igual ou superior 800 mm, também é recomendado o rejuntamento interno (RELVAS; GIMENEZ; SEGNINI, 2004).

1.2.10.5 Reaterro

Conforme as especificações do DNIT, o recobrimento deve ser realizado usando material umidificado, posteriormente, ao assentamento e o rejuntamento dos tubos, sendo no mínimo de 1,5 vezes do diâmetro da tubulação. Os compactadores manuais deverão ser usados com a finalidade de compactar camadas de 30 cm até a cobertura total da vala (BRASIL, 2006).

CAPÍTULO 2 – SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL URBANA NÃO CONVENCIONAL

O termo não convencional empregado neste trabalho refere-se a toda técnica que não se encaixa no sistema convencional, adotado pela SUDECAP, como por exemplo, as técnicas alternativas citadas, tais como, bacias de retenção, telhado verde, pavimentos permeáveis, poço de infiltração, trincheira drenante, valas, valetas, dissipadores de energia (escada d'água em concreto ou gabião) e tubos em PEAD.

A evolução da malha viária por todo o mundo, somada ao crescimento das cidades e do aumento da impermeabilização do solo, contribuíram para um aumento da frequência e da intensidade das inundações nas cidades. Este fato levou à procura de técnicas de drenagem alternativas, capazes de devolver ao solo a sua capacidade de infiltração anterior à urbanização (SUZUKI; AZEVEDO; KABBACH JUNIOR, 2013).

Estas técnicas alternativas de drenagem urbana, também conhecidas como “medidas não-convencionais” ou “técnicas compensatórias”, podem ser entendidas, como estruturas, obras, dispositivos ou até mesmo conceitos diferenciados de projeto, ainda pouco utilizados. Segundo o autor, estas soluções diferenciam-se dos métodos tradicionais de canalização, embora possam ser associados a eles, para adequar ou

otimizar o sistema de drenagem (CANHOLI, 2014).

O uso das técnicas compensatórias foi iniciado a partir da década de 1970, cuja finalidade foi reduzir os escoamentos superficiais, bem como apresentar melhores soluções para a drenagem, cujo objetivo é a realização de um rearranjo nos sistemas de drenagem que consolide a retenção e a infiltração das águas precipitadas (BELO HORIZONTE, 2007).

Isto consiste, portanto, em diminuir a vazão do escoamento superficial, de modo a minimizar o volume precipitado e reduzir a erosão da superfície. Além disso, essas técnicas têm a grande vantagem de poderem ser empregadas em conjunto, sendo classificadas como, técnicas compensatórias não estruturais e técnicas compensatórias estruturais. As técnicas compensatórias não estruturais consistem em se procurar retardar o escoamento por meio da conscientização e da Educação

Ambiental. Já as técnicas compensatórias estruturais são métodos de infiltração e retenção (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Para este trabalho, foi adotada a nomenclatura “técnicas não convencionais” para todas as medidas de drenagem que não correspondem ao sistema convencional. Desta forma, a denominação escolhida incluiu as técnicas alternativas, enfatizando os tubos em PEAD.

2.1 Bacias de retenção

As bacias de retenção são estruturas construídas para reter temporariamente a infiltração das águas superficiais, cujas principais funções são, o declínio das cheias geradas no meio urbano, a baixa no volume da vazão escoada e a redução das impurezas carregadas pela precipitação (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Exemplo de bacia de retenção realizada em Belo Horizonte, pode ser visualizada na ilustração apresentada na Figura 13.

Figura 13 – Exemplo de bacia de retenção na avenida Teresa Cristina, em BH



Fonte: PBH (2020)¹⁰.

Ainda conforme os Baptista, Nascimento e Barraud (2011), este método tem sido consideravelmente empregado em municípios brasileiros desde meados do século XX, tendo ocorrido uma intensificação de seu uso, a partir da década de 1990, em diversas áreas metropolitanas brasileiras, como, Porto Alegre, Curitiba, São Paulo e Belo Horizonte.

¹⁰ Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/prefeitura-iniciou-construcao-de-bacia-de-detencao-na-avenida-teresa-cristina>>. Acesso em: 16 mar. 2023.

Canholi (2014) corroborou que em projetos de canalização urbana:

Um dos aspectos hidráulicos mais importantes na aplicação de medidas de readequação da macrodrenagem refere-se à determinação das capacidades de vazão das canalizações existentes. **Outro aspecto do projeto hidráulico julgado relevante é determinar os volumes a reservar e o dimensionamento das respectivas estruturas de entrada e saída das bacias de detenção.** Com relação aos canais, não apenas o seu dimensionamento, mas também o amortecimento das cheias na calha, são relevantes na análise hidráulica de tais estruturas (CANHOLI, 2014, p. 147-grifo nosso).

Os Regulamentos de Detenção de Águas Pluviais estabelecem as práticas, procedimentos e objetivos para controlar a quantidade de águas pluviais por meio do uso de bacias de detenção ou outras instalações de controle. O objetivo dessas instalações é limitar os aumentos na quantidade de escoamento resultante das atividades de desenvolvimento da terra. Em algumas áreas, instalações de detenção podem ser necessárias como parte do sistema de drenagem pluvial da rodovia. As bacias de detenção e retenção geralmente devem atender aos critérios de projeto para controlar as tempestades mais frequentes e passar com segurança por eventos de tempestade maiores. A gestão de águas pluviais também pode incluir outras medidas para reduzir a taxa de escoamento de um local desenvolvido, como maximizar a quantidade de escoamento que se infiltra de volta no solo (BROWN; STEIN; WARNER, 2001).

2.2 Descidas d'água

As descidas d'água também conhecidas como escadas hidráulicas (Figura 14), têm por objetivo direcionar as águas coletadas pelos sistemas de drenagem ao longo de taludes de corte e aterro. Tais dispositivos podem ser feitos de concreto simples ou armado, sendo, neste caso, moldados "in loco", como também de material metálico (BRASIL, 2006).

Figura 14 – Descida d'água

Fonte: Deflor Bioengenharia (2023)¹¹.

O Manual de Drenagem do DNIT estabelece que para taludes de cortes, as descidas d'água funcionam como dispositivos que captam o deságue das valetas quando estas atingem seu comprimento máximo e, assim, conduzem essa água até as caixas coletoras ou sarjetas. No caso de taludes aterrados, este elemento de drenagem atua no direcionamento das águas oriundas das sarjetas de aterro, quando estas se encontram no seu nível crítico ou em pontos baixos, até o terreno natural. Além disso, essa técnica também pode ser executada como deságue de valetas de banquetas quando estas atingirem seu nível máximo (BRASIL, 2006).

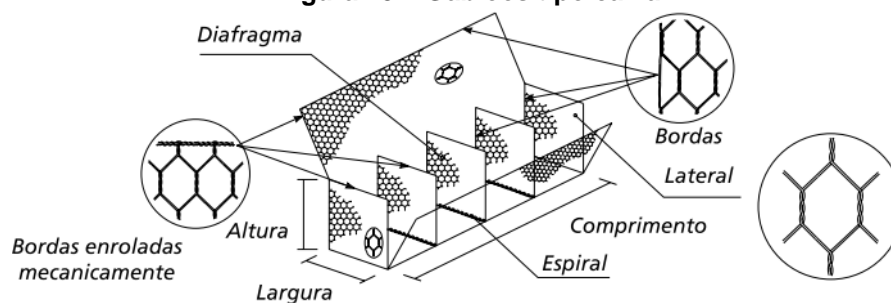
De acordo com suas seções, as escadas hidráulicas podem apresentar algumas formas que permitem uma modificação na vazão a ser escoada, podendo ser retangular com a calha lisa ou em degraus, semicircular ou em tubos (BRASIL, 2006).

2.3 Gabião

Os gabiões possuem formas diversificadas, podendo ser tipo caixa, tipo saco, tipo colchão Reno, composto por elementos modulares que são confeccionados com tela de malha hexagonal de dupla torção de arame galvanizado e pedras, conforme ilustrado na Figuras 15, 16 e 17 (BARROS *et al.*, 2009).

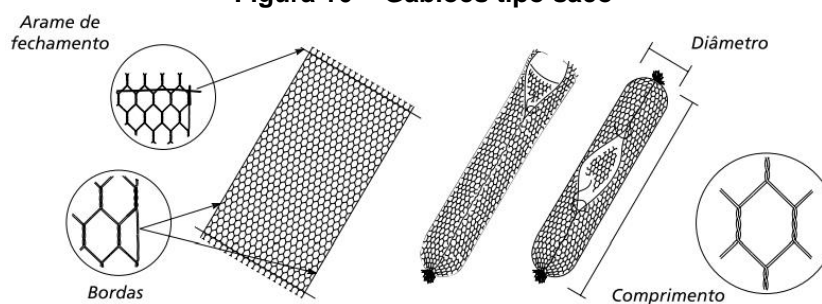
¹¹ Disponível em: <<https://deflor.com.br/sistema-de-drenagem/>>. Acesso em: 22 junho 2023.

Figura 15 – Gabiões tipo caixa



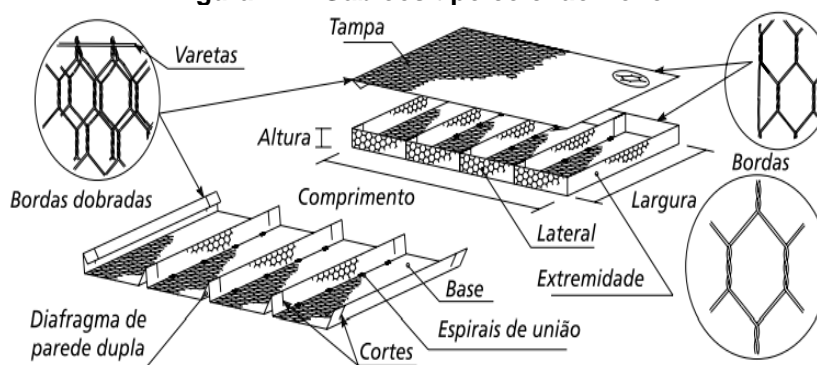
Fonte: Barros et al. (2009)

Figura 16 – Gabiões tipo saco



Fonte: Barros et al. (2009).

Figura 17 – Gabiões tipo colchão Reno



Fonte: Barros et al. (2009).

A montagem do gabião é realizada de forma manual ou mecanizada, as pedras são dispostas entre si com diferentes granulometrias para melhor encaixe. Esta estrutura é atribuída como um elemento de contenção ou dissipador de energia destinada a sanar problemas geotécnicos, hidráulicos e de controle da erosão. Existem vários modelos, porém o que se utiliza para dissipador de energia é o tipo caixa, no qual são formados paralelepípedos de acordo com sua execução (BARROS et al., 2009).

2.4 Pavimentos permeáveis

A França foi a precursora na utilização do pavimento permeável ou poroso entre os anos de 1945-1950, mas neste período seu uso foi limitado devido ao fato de suas características, hidráulicas e mecânicas, não serem adequadas. Ou seja, apresentavam muitos espaços vazios que não mantinham as ligações da estrutura. Apesar disso, alguns países como a França, os Estados Unidos, o Japão e a Suécia investiram neste tipo de pavimento no final dos anos 1970 (SUZUKI; AZEVEDO; KABBAAH JÚNIOR, 2013).

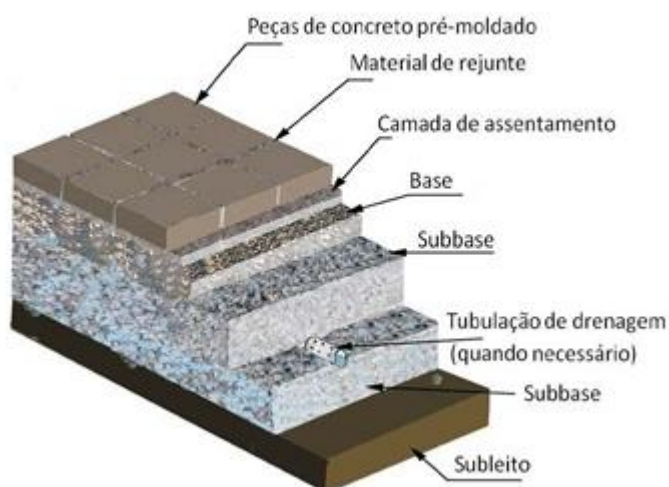
Usualmente, são empregados dois tipos de pavimentos permeáveis, intertravado e poroso ou permeável. O primeiro pode ser definido como peças pré-moldadas de concreto, que possuem uma capacidade de drenagem e permitem a infiltração da água por suas juntas, o que favorece as superfícies impermeabilizadas e minimiza o escoamento superficial, conforme indicado pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Já o segundo, possui características que permitem a infiltração e armazenamento do escoamento superficial (SUZUKI; AZEVEDO; KABBAAH JÚNIOR, 2013).

Conforme Canholi (2014), os pavimentos permeáveis são compostos usualmente, por concreto ou asfalto convencionais dos quais são retiradas as partículas mais finas. Existem várias razões que levam à escolha da utilização do pavimento permeável, sendo as principais:

- a) a alta taxa de crescimento populacional, e a conseqüente diminuição da taxa de permeabilidade;
- b) a segurança nas vias, para prevenir a formação de poços de água em tempos chuvosos, possibilitando melhor aderência, desempenho e conforto ao usuário;
- c) comparado com o pavimento convencional sua emissão de poluição sonora é menor, tendo em vista o bem-estar do entrono.

Pode-se ver na Figura 18 a representação esquemática dos pavimentos impermeáveis.

Figura 18 – Esquemas de pavimentos permeáveis



Fonte: Marchioni e Silva (2011).

2.5 Poços de Infiltração

Os poços de infiltração têm o objetivo de acumular as águas decorrentes do escoamento superficial ou de dispositivos de rede, com intuito de diminuir a vazão. Normalmente, são dispositivos de pequeno porte, considerados pequenas unidades de conservação. Podem ser de concreto com tijolos (Figura 19), com concreto furado (Figura 20), ou qualquer outro tipo de material resistente, como por exemplo, pneus (Figura 21) que suporte a pressão externa do solo (CANHOLI, 2014).

Figura 19 – Poço de infiltração com tijolos



Fonte: Barbassa, Angelini Sobrinha e Moruzzi (2014).

Figura 20 – Poço de infiltração com concreto furado

Fonte: Bauen construtora (2019)¹².

Figura 21 – Poço de infiltração com pneus

Fonte: Carvalho e Lelis, 2010.

Uma das grandes vantagens do poço de infiltração (Figuras 19, 20 e 21) é depender de pouco espaço e propiciar uma boa integração ao ambiente, de forma que pode ser empregado em áreas de lazer e outros fins. Sua estrutura pode ser constituída de modo que ele atue com sua parte interna vazia ou preenchida com materiais granulares e porosos. Os materiais granulares (pedra britada, cascalho e areias), evitam que haja o processo de colmatação, quando ocorre o preenchimento dos buracos, poros e espaços vazios do solo no poço, sendo que o mais apropriado é a brita. Nos poços que atuam com a estrutura aberta, é necessário que se realize um revestimento com material geotêxtil para que não ocorra desmoronamento das paredes laterais. Como o volume de suporte do poço não é muito grande, é muito

¹² Disponível em: <<https://www.bauenconstrutorasp.com.br/post/qual-afun%C3%A7%C3%A3o-de-um-po%C3%A7o-de-infiltra%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 22 junho 2023.

utilizado como dispositivo complementar a outras estruturas (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

O topo do poço de infiltração é vedado com um material poroso permitindo a infiltração da água pluvial pelas laterais. A tampa deve ser resistente quanto ao peso de pessoas e animais para evitar acidentes. No tempo de seca, o interior do poço fica vazio, porém na época de chuvas toda água da região ao redor escoará lá para dentro. Desta forma, aos poucos essa água armazenada vai se infiltrando aos poucos no solo, tanto pelo seu fundo como pelas laterais (CARVALHO; LELIS, 2010).

2.6 Trincheiras de infiltração

As trincheiras de infiltração (trincheiras de percolação ou trincheiras drenantes), são escavações rasas que podem ser preenchidas com por material granular do tipo brita ou seixos rolados, geralmente do tipo *off-channel*, formando um reservatório subterrâneo que coleta o escoamento e faz a infiltração para o subsolo ou o desvia para uma instalação de escoamento (BROWN; STEIN; WARNER, 2001).

A principal finalidade é retirar as águas pluviais que se encontram perpendiculares ao seu comprimento, proporcionando a infiltração e o armazenamento provisório. Suas dimensões são reduzidas em relação à largura e à profundidade, normalmente não ultrapassando um metro, enquanto que suas dimensões longitudinais são mais consideráveis. Elas podem ser de dois tipos, sendo de infiltração ou de detenção (SOUZA *et al.*, 2018).

Na Figura 22 pode-se ver o esquema de uma trincheira drenante simples.

Figura 22 – Execução da trincheira

Fonte: Adaptado de Souza *et al.* (2018)

O uso de uma trincheira de infiltração só é viável quando os solos são permeáveis e a sazonalidade lençol freático está abaixo do fundo da vala. É classificada como técnica compensatória linear, apresentando uma dimensão longitudinal significativa em comparação com sua largura e profundidade (SOUZA *et al.*, 2018).

As águas armazenadas pela trincheira podem ser retiradas de duas maneiras, primeiro quando a infiltração ocorre diretamente no solo pela base ou paredes laterais, têm-se a trincheira de infiltração; ou quando a água armazenada é retirada por um simples lançamento no meio natural, a jusante ou através de um dispositivo de despejo, com contenção de vazão, pode-se defini-la como trincheira de detenção (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

2.7 Valas e valetas de infiltração e detenção

Conceituam-se valas e valetas como “técnicas compensatórias construídas por simples depressões escavadas no solo com o objetivo de recolher as águas pluviais e efetuar o seu armazenamento temporário e, eventualmente, favorecer a infiltração” (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011, p. 237).

Na Figura 23 é possível observar o croqui da disposição dos componentes da valeta.

Figura 23 – Croqui e projeto de valeta de infiltração e detenção



Fonte: Santos (2023).

A implantação de tais dispositivos iniciou-se a partir de 1970, em vários países. São consideradas técnicas simples e de fácil execução, podendo ser empregadas em diversos ambientes, como: sistema viário, jardins, terrenos esportivos e em áreas verdes em geral (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Importante destacar que as entradas de drenagem são os receptores para a água de superfície coletada em valas e sarjetas e servem como o mecanismo pelo qual a água de superfície entra nos bueiros. As entradas de drenagem pluvial são dimensionadas e localizadas para limitar a propagação da água de superfície em faixas de rodagem. O termo "entradas", refere-se a todos os tipos de entradas, como entradas de grade, entradas de meio-fio, entradas com fenda, entre outros (BROWN; STEIN; WARNER, 2001).

A função destas técnicas é o armazenamento e a infiltração, devendo, por isso, ser analisado o terreno no qual elas serão empregadas. Para o melhor desempenho das valas e valetas, o terreno deve ser plano ou possuir uma inclinação mínima, para que a água não escoe com muita velocidade (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

São usadas para interceptar o escoamento e carregá-lo para uma drenagem pluvial adequada. Essas valas devem ter capacidade adequada para o escoamento da água e devem estar localizadas e moldadas de maneira que não apresente perigo para o trânsito. Se necessário, devem ser fornecidos revestimentos de canais para controlar a erosão nas valas. Revestimentos vegetativos devem ser usados, se assim o projeto permitir (BROWN; STEIN; WARNER, 2001).

2.8 Tubos em PEAD

Os tubos em PEAD foram usados pela primeira vez em sistemas de drenagem de estradas na década de 1970 pelo Departamento de Transporte de *Lowa* (DOT - *Lowa Department of Transportation*), e pelo DOT da Geórgia; tubos corrugados PEAD foram usados pelo DOT de Ohio em 1981 (CHUDNOVSKY *et al.*, 2012).

Importante ressaltar que o PEAD, se tornou um material de interesse da engenharia, sendo utilizado em bueiros e dutos de drenagem devido às suas inúmeras vantagens. Este material de confecção é um plástico resistente produzido da combinação de imensuráveis moléculas de etileno (monômeros), por meio de uma reação de polimerização, o qual gera uma grande macromolécula. Devido a isso, os tubos em PEAD possuem características próprias de um polímero. O polietileno (PE) tornou-se um dos materiais termoplásticos mais utilizados no mundo (MARCONDES, 2016).

A questão da expectativa de vida útil dos tubos em PEAD feitos com resinas recicladas versus resinas virgens tem sido o foco de estudos de pesquisa nos últimos anos. Vários estudos recentes confirmaram que o PEAD é durável com um desempenho de vida útil estendida de mais de 100 anos (NGUYEN *et al.*, 2021).

Os tubos em PEAD são fáceis de instalar e implicam baixos custos de manutenção. Essas propriedades coincidem com aplicações que requerem um material flexível para desempenho de longo prazo (CHUDNOVSKY *et al.*, 2012).

A parte exterior destes tubos podem ser liso ou corrugado, sendo que a resistência mecânica é elevada pelo exterior corrugado, visto que ocorre um aumento na força estrutural do tubo. O tubo em PEAD proporciona maior eficiência hidráulica do que outras tecnologias, visto que devido:

[...] a capacidade de condução de vazão de uma tubulação é inversamente proporcional à sua rugosidade interna, o baixo índice de rugosidade do interior dos tubos em PEAD ajuda sua eficiência hidráulica em conduzir os fluidos (ADSTIGRE, 2017, n.p.)¹³.

¹³ Disponível em: <<https://www.tigre-ads.com/brasil/tubos-de-pead-mitos-e-verdades/>>. Acesso em: 06 abr. 2023.

Esta capacidade retrata a fricção em oposição à superfície interna do tubo ao fluxo do líquido. Na Figura 24 é mostrado o armazenamento de tubos de PEAD.

Figura 24 – Armazenamento de tubos PEAD



Fonte: TVG Serviços (2023)¹⁴.

Dados os benefícios de desempenho nas primeiras aplicações, os tubos têm sido amplamente utilizados para bueiros, bem como sistemas de drenagem e distribuição de água potável. Os tubos em PEAD têm excelente resistência à corrosão, flexibilidade e eficiência hidráulica. Além disso, são leves e possuem juntas fundidas ao contrário de outros tipos de tubos (PERES, 2005).

No entanto, os critérios de exposição, como ambiente e condições de serviço, podem afetar a vida útil do tubo. Conseqüentemente, fornecer números específicos sobre a durabilidade dos tubos em PEAD precisa ser claramente abordado (NGUYEN *et al.*, 2021).

Os tubos em PEAD para aplicações em drenagem de ruas e rodovias estão disponíveis comercialmente em tamanhos de até 60 polegadas de diâmetro. O desejo de usar tubos de grande diâmetro, bem como resinas recicladas são o assunto atual de preocupação. A incerteza sobre o desempenho a longo prazo e a durabilidade dos tubos sob carregamento repetido, problemas relacionados ao ataque químico do solo e da água, estabilidade sob luz ultravioleta, condições ambientais, qualidade e prática de instalação e tipos de resina exigem investigação por pesquisadores. Muitos estudos foram realizados no início, testando tubos corrugados de PEAD com diferentes diâmetros para determinar a relação entre a deflexão do tubo de PEAD enterrado e a altura da cobertura do solo em várias densidades de aterro (NGUYEN *et al.*, 2021).

¹⁴ Disponível em: <<https://tvgservicos.com.br/tubos-de-pead/>>. Acesso em: 22 junho 2023.

Conforme destacado por Peres (2016), a possibilidade de modos de falha dos tubos em PEAD, tem relação com a deflexão do anel; contração localizada da parede; tensão de parede compressiva; deformação da parede do tubo; falha de tração, compressão e flexão; falha por ruptura por fluência; *cracking* por estresse ambiental (CEA). Quanto ao desempenho de tubos em PEAD corrugados feitos com resinas recicladas ou virgens, estes são mais duráveis e proporcionavam desempenho de longo prazo. Existe, no entanto, uma diversidade de padrões de produção e instalação para tubos PEAD. Todavia, a durabilidade dos tubos PEAD depende das condições de cada área de instalação, como condições de serviço, módulo do solo e ambiente geológico regional e local, sendo também, um fator que determina a escolha e o uso da tubulação.

A definição mais básica de durabilidade é a capacidade de durar por um longo tempo durante o qual as propriedades originais do material são mantidas. Isso inclui a capacidade de resistir a impactos devido a condições ambientais ou outras condições de serviço, bem como a capacidade de resistir à erosão, degradação do material (por exemplo, resistência à corrosão e resistência mecânica) e perda de função. Portanto, a integridade dos fatores que afetam a durabilidade dos tubos PEAD em uso prolongado deve ser levada em consideração. Isso ajuda os gerentes a elaborar estratégias para desenvolvimento econômico, operação e reparo de dutos (NGUYEN *et al.*, 2021).

CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO

Neste capítulo discute-se o tratamento dos dados obtidos a partir da apresentação de um relato de caso *in loco*. Para melhor entendimento, foram apresentadas em três seções, sendo agrupadas do seguinte modo: (i) relato da pesquisa; (ii) metodologia de obtenção dos dados; (iii) resultados obtidos e análise dos dados.

3.1 Relato da pesquisa

Como exemplo do uso de sistema de drenagem de água pluvial foi apresentado um estudo de caso, demonstrando uma obra realizada em setembro de 2021, localizada na rua Vila Rica no bairro Padre Eustáquio, em Belo Horizonte, Região Noroeste. A obra em questão ocorreu nesse período devido ao fato desta rua causar vários prejuízos materiais e pessoais nestes episódios de cheias recorrentes. Além disso, essa rua possui uma alta malha rodoviária diária no local.

Na Figura 25 pode-se ver a localização da obra baseada em imagens do *software Google Earth*.

Figura 25 – Rua Vila Rica - Local da obra



Fonte: Google Earth (2023)¹⁵

¹⁵ Disponível em: <https://earth.google.com/web/search/Rua+Vila+Rica+/@-19.9110846,-44.01302114,884.51517165a,17979.42972764d,35y,-149.73034505h,45.10803545t,0r/data=CncaTRJHCiMweGE2OTcyNzUyYTU2MjJmOjB4YzNiNGU0MWZhMzI1OGFjNBI3jOGgc-kzwCGR0mweh_1FwCoOUUnVhIFZpbGEgUmljYSAYAiABliYKJAm0iGk0LOkzwBGd29OFr-8zwBI3lr184PxFwCH6rQWOlgBGwA>. Acesso em; 22 jun. 2023.

Inicialmente, não foi possível realizar a desobstrução nem com a ajuda do caminhão hidrojato, ou seja, tentou-se fazer a desobstrução dos tubos de ligação das bocas de lobo ao poço de visita e do poço de visita através da rede principal até o próximo poço de visita. Sendo assim, por se tratar de uma obra de emergência optou-se pela destruição/demolição da rede existente de concreto da obra convencional e a execução de uma nova com o material do tubo em PEAD para obra não-convencional. Nesta obra, foram substituídos os tubos de concreto existentes pelos tubos em PEAD, considerada como sistema não convencional, sendo uma técnica alternativa adotada pela SUDECAP. O trecho em questão tem por finalidade coletar a água pluvial do bairro Padre Eustáquio. Embora, já existisse um sistema de água pluvial convencional, a intervenção foi necessária e urgente em decorrência de sucessivos alagamentos no local. A obra emergencial foi realizada pela PBH.

Cabe salientar que não foi relatado nenhum acidente grave ou fatal com a utilização dos tubos em PEAD e não houve registro de nenhum acidente grave ou fatal utilizando os tubos de concreto.

3.2 Metodologia de obtenção dos dados

Foi apresentado o estudo de caso in loco, como forma empírica de investigar o fenômeno atual dentro de seu contexto real, sendo realizada uma triangulação de métodos de análise. Esta triangulação incluiu uma investigação documental e levantamentos das percepções por meio de visitas in loco com observação.

O propósito de utilizar esses instrumentos de coleta de dados para acompanhar uma obra pública de drenagem comparando os sistemas de drenagem, convencional e não convencional usando tubos em PEAD, em um trecho de uma movimentada rua da capital mineira na Região Noroeste. Desta forma, propiciou a prática permitindo ao engenheiro ter a oportunidade de confrontar conceitos teóricos aprendidos baseado na literatura em sala de aula com a experiência vivenciada na obra referida.

Os sujeitos ou objetos envolvidos foram: a equipe de engenharia; os comerciantes da região; os moradores e pessoas que transitam pelo local; e até mesmo, aqueles que raramente passam pelo local.

Utilizou-se na coleta de dados, dados de medição, catálogos de fornecedores, websites específicos, além de informações do engenheiro responsável pela execução desta obra em conjunto com o encarregado.

3.3 Resultados obtidos e análise dos dados

No referido trecho da rua Vila Rica, foi executado a substituição de 24 metros de tubulação em PEAD (Figura 26), cuja perfuração existente era de 3,5 metros de profundidade, mantendo a mesma profundidade (Figura 27).

Figura 26 –Tubos em PEAD utilizados



Fonte: Arquivo pessoal.

Figura 27 – Escavação até a rede existente



Fonte: Arquivo pessoal.

Foram utilizadas a quantidade de 04 (quatro) tubos em PEAD 375 mm para drenagem pluvial. Para descida dos tubos na vala foi utilizada a retroescavadeira como apoio, com a utilização de uma cinta, o tubo é amarrado próxima a duas extremidades e se executa a descida deste na vala, mas se necessário a própria equipe desceria o tubo sem maiores problemas com a utilização de cordas. O processo para instalação do tubo seguiu os seguintes passos:

– foi colocado um tampão feito através dos tubos em PEAD ou tampão executado no campo por fora da ponta ou bolsa para não empurrar diretamente sobre o tubo a inserir e evitar danificar as extremidades do tubo;

– foi colocado uma madeira na posição vertical contra o tampão. Antes disto, as extremidades já estavam lubrificadas, sendo unidas para uma inserção mais fácil na parte macho-fêmea dos tubos;

– com a utilização de uma barra ou alavanca de ferro foi empurrada contra o bloco de madeira para alavancar de forma a empurrar o tubo até que a inserção ponta- bolsa se realize de maneira adequada.

A obra causou problema no tráfego local, já que é um corredor de tráfego urbano ligado a rua Vila Rica rua a Rio Pompea e a avenida Dom Pedro II de grande movimentação. Além disso, no local onde foi realizada a obra possui um supermercado que era liberado para os carros utilizarem. Isto era feito com a utilização de uma placa de trânsito local, sendo que para acessar a esquina estava com o trânsito impedido para veículos. Já os pedestres tinham um espaço nos passeios para transitar livremente, sendo pedido para pararem só quando estava sendo transportado alguma peça pesada como a tampa de concreto do poço de visita (PV) ou carregado a terra que foi retirada da vala por causa do pó.

Foi retirada uma licença junto a BHTrans referente ao bloqueio da via e remanejamento de rota para os ônibus que utilizavam o local. Em consulta com os fornecedores, foram levantados alguns dados que fazem com que a empresa tome a decisão por um ou outro material considerando a importância e urgência da obra específica. No quadro 2 abaixo estão alguns dados.

Quadro 2 – Comparativo: tubo em PEAD x tubo de concreto

| Parâmetro | Tubo Tigre ADS - PEAD | Tubo Concreto |
|-----------------------|------------------------------|--------------------------|
| Quimicamente Inerte | Variação de PH de 1,5 a 14 | Variação de PH de 3 a 12 |
| Eficiência Hidráulica | Manning – 0,09 a 0,12 | Manning – 0,013 a 0,017 |
| Vida Útil | 75 anos | 30 anos |
| Peso | 1200 mm = 40 kg/m | 1200mm = 1360 kg/m |
| Comprimento do Tubo | 6m | 1m |
| Tempo de Instalação | 50% mais rápido | – |

Fonte: Tigre ADS (2022)

Baseado nas informações, os tubos de PE são 30 vezes mais leves que os tubos de concreto, o que facilita no transporte e na instalação, pois não necessita de equipamentos para descida do duto na vala. Além disso, concernente a dimensão, os tubos em PEAD possuem um maior tamanho tornando a quantidade necessária para realização da obra/serviço menor. Deve-se observar que o tubo de concreto possui comprimento de 1 m. Os tubos em PEAD são acabados em barras de 6 metros.

Em comparação aos sistemas e técnicas utilizadas, a cada 60 metros de tubulação são necessários 60 tubos de concreto, enquanto que, usando os tubos de PE na mesma metragem seriam necessários apenas 10.

Pode ser observado, que há uma tendência na utilização dos tubos em PEAD em obras em locais que necessitam ser finalizadas e liberadas o quanto antes, devido à alta necessidade de liberação do local.

A limpeza da boca de lobo (Figura 28), é de fundamental importância para que todo o sistema de drenagem funcione. Caso esteja entupida, todo o sistema se torna falho propiciando ocorrer enchentes que causam transtorno e prejuízo aos cidadãos.

Figura 28 – Limpeza da boca de lobo



Fonte: Arquivo pessoal.

A abertura desta vala (Figura 29) foi feita em decorrência de que todos os esforços para desentupimento e limpeza da rede foi fracassado. Então, foi feita uma

vale do PV posterior ao trecho até a caixa de passagem com o propósito de encontrar os tubos e substituí-los para que a rede voltasse a funcionar impedindo ou minimizando a chance de acontecer alagamentos que até então estavam frequentes.

Figura 29 – Abertura da Vala



Fonte: Arquivo pessoal.

O corte para interceptação (Figura 30) de caixa existente foi importante para sua limpeza, visto que estava totalmente cheia de sedimentos e a sua posterior transformação em PV para que pudesse dar a devida manutenção, fazendo com que o sistema de drenagem funcionasse.

Figura 30 – Corte para interceptação de caixa existente



Fonte: Arquivo pessoal.

Na Tabela 3 mostra-se os custos levantados se no atual estudo de caso tivesse sido utilizado tubo de concreto.

Tabela 3 – Custo de comparação entre os tubos

| Tubos em Concreto | | | | |
|-------------------------------|-------|-------------|--------------|----------------------|
| Item | Unid. | P. Unitário | Quantitativo | P. Total |
| DN 600mm | M | R\$ 195,00 | 24 | R\$ 4.680,00 |
| Retroescavadeira com operador | HP | R\$ 88,00 | 20 | R\$ 1.760,00 |
| Retroescavadeira com operador | HI | R\$ 47,00 | 24 | R\$ 1.128,00 |
| Encarregado | H | R\$ 30,00 | 44 | R\$ 1.320,00 |
| Pedreiro | H | R\$ 24,13 | 44 | R\$ 1.061,72 |
| Ajudante | H | R\$ 18,06 | 44 | R\$ 794,64 |
| | | | Total | R\$ 10.744,36 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já na Tabela 4 apresenta-se os dados dos tubos em PEAD.

Tabela 4 – Dados dos tubos em PEAD

| Tubos em PEAD | | | | |
|-------------------------------|-------|--------------|-------|----------------------|
| Item | Unid. | P. Unitário | Quant | P. Total |
| DN 400mm | M | R\$ 1.800,00 | 4 | R\$ 7.200,00 |
| Retroescavadeira com operador | HP | R\$ 88,00 | 14 | R\$ 1.232,00 |
| Retroescavadeira com operador | HI | R\$ 47,00 | 5 | R\$ 235,00 |
| Encarregado | H | R\$ 30,00 | 27 | R\$ 810,00 |
| Pedreiro | H | R\$ 24,13 | 27 | R\$ 651,51 |
| Ajudante | H | R\$ 18,06 | 27 | R\$ 487,62 |
| Total | | | | R\$ 10.616,13 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A obra com o uso dos tubos de concreto, considerando o processo executivo de cada etapa, gastaria cerca de uma semana sem intercorrência. Já com o uso de tubo em PEAD conseguimos executar com dois dias e no máximo três dias. Isto por se tratar de obra emergencial, ou seja, obra que tem de ser executada o mais breve possível, fazendo, portanto, toda a diferença na tomada de decisão por parte do gestor.

Neste trecho, havia uma caixa existente de passagem que recebia das duas bocas de lobo as águas escoadas pela sarjeta. Esta caixa existente foi alteada e transformada em PV (Figura 31), de forma a efetuar a manutenção neste ponto e evitar entupimentos e alagamentos neste local.

Figura 31 – Transformação em caixa de passagem em PV

Fonte: Arquivo pessoal

Na recuperação da rede entupida, foi feito o alteamento para transformar a caixa de passagem em poço de visita para que se possa fazer sua manutenção e evite futuros problemas como este.

Dentre os equipamentos utilizados nesta obra emergencial, está o caminhão hidrojato (Figura 32), com uma enorme eficiência nas atividades de desentupimento de redes devido à alta pressão que se consegue com a mangueira utilizada. Na obra em questão, foi possível efetuar o desentupimento no ramal de ligação, isto é, da boca de lobo para o poço de visita, mas o mesmo não foi possível com a rede principal.

Figura 32 – Caminhão Hidrojato



Fonte: Arquivo pessoal.

Foi enviado para o bota-fora (Figura 33), todo solo e pavimento não utilizado para reaterro da vala e execução do pavimento.

Figura 33 – Carregamento no caminhão para bota-fora



Fonte: Arquivo pessoal.

A compactação da vala (Figura 34), foi um processo evitar o abatimento da rede, o deslocamento do tubo e o abatimento do pavimento, pois o solo ficou apto a receber as cargas aplicadas pelo tráfego local.

Figura 34 – Compactação da vala



Fonte: Arquivo pessoal.

Após contextualizado sobre o funcionamento de todo um sistema de drenagem pluvial, explicando os componentes, suas funções e características, pode ser percebido a importância de cada parte e a interdependência entre elas, bem como compreender o porquê da substituição dos tubos de concreto e em PEAD na obra em questão.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Melhorias e refinamentos nas técnicas de escoamento de águas pluviais surgiram como alternativa para melhorar a sua precisão, principalmente relacionada as vantagens quanto ao custo e benefício. Assim, retomando a questão norteadora deste estudo que residiu explicar entre as técnicas, o melhor material dos tubos deve ser utilizado nas redes de drenagens pluviais e nas obras urgentes que resolverão as questões que surgem, pode-se concluir que o sistema não convencional foi a melhor tecnologia construtiva e o uso de tubos em PEAD foi a opção mais viável diante as suas vantagens em relação aos tubos de concreto.

Ao apresentar o relato de caso de uma obra de drenagem pluvial na capital mineira, substituindo os tubos de concreto pelos tubos em PEAD, pode-se entender as vantagens de sua aplicação e o porquê esse material vem sendo utilizado numa escala maior. Ao comparar os tubos em PEAD com os tubos de concreto, pode-se concluir também, que o primeiro apresentou um valor mais alto mesmo com quantitativos inferiores em todos os itens da tabela comparativa. Isto se deve devido a tecnologia empregada que permite uma alta durabilidade superior aos tubos de concreto. Desta forma, estes tubos se destacam na redução de custos ao se pensar a longo prazo.

Como fica demonstrado pelas tabelas 3 e 4 o custo com a utilização dos tubos em PEAD fica R\$ 128,23 (cento e vinte e oito reais e vinte e três centavos) menor, sendo um dos motivos de usar os tubos em PEAD, além do citado, é devido também, a agilidade de execução, diminuição dos prazos e do cronograma, além de possuir alto grau de eficiência. Logo, a utilização dos tubos em PEAD em obras de emergência é uma boa opção devido a sua alta produtividade e dinamismo que as obras atuais exigem, como uma alternativa mais acessível quanto ao tempo de vida útil maior. Ademais, ainda possui um peso menor de kg/m e diminui o tempo de execução devido ao tamanho e a facilidade de descida da vala comparada aos tubos de concreto.

Baseado nos aspectos abordados, a contribuição prática da pesquisa é vista por trazer contribuições empíricas importantes acerca dos conteúdos, sobretudo no aspecto comparativo dos sistemas construtivos e dos materiais que melhor proporcionam custo benefício. Além disso, traz também trouxe contribuições a

respeito de obras emergências que envolve o sistema de água pluvial e a realidade existente e as decisões tomadas como os pontos altos encontrados

REFERÊNCIAS

- ABELLÁN, Javier. El desarrollo de los servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento en Europa: siglos XIX y XX. In: XII INTERNATIONAL CONGRESS OF THE SPANISH ASSOCIATION OF ECONOMIC HISTORY, **Anais...** Espanha: Universidad de Salamanca, Madri, 6-9 septiembre, p.01-10, 2017.
- ALEXANDRE, Jonatas. Poço de visita: Detalhes em DWG. **DetalhamentosCAD** [online], set. 2021. Disponível em: <<https://jonatasalexandre.com.br/poco-de-visita/>>. Acesso em: 22 junho 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 17015**: Execução de obras lineares para transporte de água bruta e tratada, esgoto sanitário e drenagem urbana, utilizando tubos rígidos, semirrígidos e flexíveis. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 9648**: Estudos de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 9814**: Execução de rede coletora de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 8890:2008**. Tubos de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários – Requisitos e métodos de ensaio. 2008. 36f.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 8890**: tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários: requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR ISO 21138-1 de 06/202.1**. Sistemas de tubulações plásticas para drenagem e esgoto subterrâneos não pressurizados — Sistemas de tubos com paredes estruturadas de policloreto de vinila não plastificado (PVC-U), polipropileno (PP) e polietileno (PE) Parte 1: Especificação de materiais e critérios de desempenho para tubos, conexões e sistemas. 2. ed. Rio de Janeiro, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS FABRICANTES DE TUBOS DE CONCRETO - ABTC. **O que são os tubos de concreto?** Disponível em: <<https://www.abtc.com.br/tubos-e-aduelas>>. Acesso em: 2 mar. 2023.
- AZEVEDO NETTO, José Martiniano de. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Blucher, 2000. 483 p.
- BAPTISTA, Márcio Benedito; NASCIMENTO; Nilo de Oliveira; BARRAUD, Sylvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 2 ed., Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos-ABRH, 2011. 318 p.

BARBASSA, Ademir Paceli; ANGELINI SOBRINHA, Loide; MORUZZI, Rodrigo Braga. Poço de infiltração para controle de enchentes na fonte: avaliação das condições de operação e manutenção. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 91-107, 2014.

BARROS, Pêrsio Leiter de Oliveira *et al.* **Obras de contenção**: manual técnico. Rio de Janeiro; Curitiba: Maccaferri. 2009. 220 p.

BATISTA, Carlos Manuel Nunes. **Drenagem superficial das vias de comunicação**. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2010.

BAUEN CONSTRUTORA. **Qual a função de um poço de infiltração?** Disponível em: <<https://www.bauenconstrutorasp.com.br/post/qual-afun%C3%A7%C3%A3o-de-um-po%C3%A7o-de-infiltra%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 22 junho 2023.

BELO HORIZONTE. Ministério das Cidades; Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). **Águas pluviais**: técnicas compensatórias para o controle de cheias urbanas: guia do profissional em treinamento: nível 2 e 3. Belo Horizonte: ReCESA, 2007. 52 p.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Águas de chuva**: engenharia das águas Pluviais nas cidades. 3. ed. São Paulo: Blusher, 2011.

BOTELHO, Manoel Henrique Cardoso. **Águas de Chuva**: engenharia das águas pluviais nas cidades. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2017. 344 p.

BRASIL. Departamento nacional de Infraestrutura de Transportes; Diretoria de Planejamento e pesquisa; Coordenação geral de Estudos e pesquisa; Instituto de pesquisas rodoviárias. **Manual de pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 274 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes-DNIT. **Norma DNIT 405/2017 – ME**: Controle de Compactação em Aterros com o Equipamento Gamadensímetro - Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2017. 8 p.

BROWN, Scott A., STEIN, Stuart; WARNER, John C. **Urban drainage design manual: hydraulic engineering circular 22**. No. FHWA-NHI-01-021. United States. Federal Highway Administration. Office of Bridge Technology, 2001.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2 ed. rev. e ampl. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 372 p.

CAPARAÓ. Obras de drenagem urbana impactam infraestrutura do Jardim Adonai, em Caarapó. **Jornal Agora MS, o endereço da notícia** [online], ago., 2020. Disponível em: <<https://www.agorams.com.br/obras-de-drenagem-urbana-impactam-infraestrutura-do-jardim-adonai-em-caarapo/>>. Acesso em: 02 mar. 2023.

CARVALHO, José Camapum de; LELIS, Ana Cláudia. **Cartilha Infiltração**. v. 2, Série Geotecnia UnB. Brasília: UFB, 2010. 36 p.

CHUDNOVSKY, Alexander *et al.* Lifetime assessment of engineering thermoplastics. **International Journal of Engineering Science**, v. 59, p. 108-139, 2012.

DEFLOR BIOENGENHARIA. **Sistema de drenagem**. Contagem, 2023. Disponível em: <<https://deflor.com.br/sistema-de-drenagem/>>. Acesso em: 22 junho 2023.

DIAS, Maria Assunção Faus da Silva. Eventos climáticos extremos. **Revista USP**, n. 103, p. 33-40, 2014.

DOMINGUES, Aline Bensi. **Contribuição ao projeto estrutural de galerias de concreto pré-moldado com seções transversais não usuais**. 2017. 167f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

FERNANDES, Carlos. **Microdrenagem**: um estudo inicial. Campina Grande: Publicação DEC/CCT/UFPB, 2002. 196 p.

GRIBBIN, John E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014. 544 p.

HOPKINS, John NN. The Cloaca Maxima and the monumental manipulation of water in archaic Rome. **The waters of Rome**, v. 4, n. 2007, p. 1-15, 2007.

INFRAESTRUTURA URBANA. **Saneamento**: Sarjetões de concreto armado. 2018. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/6/1-sarjetoes-deconcreto-armado-227269-1.aspx>>. Acesso em: 22 junho 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. Diretoria de Geociências. **Atlas de saneamento**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 268 p.

LIBERATO, Thaís Souza. **Utilização de tubos de PVC RIB LOC para rede de águas Pluviais**. 2015. 65f. Monografia (Especialização em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MATOS, José de Saldanha. Aspectos históricos a actuais da evolução da drenagem de águas residuais em meio urbano. **Engenharia Civil -UM**, Lisboa, n. 16, p. 13-23, 2003.

MARCHIONI, Mariana; SILVA, Cláudio Oliveira. Pavimento intertravado permeável-melhores práticas. **Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP)**, São Paulo, p. 01-08, 2011. Disponível em: <file:///C:/Users/abnt_/Downloads/PR2_Conceitos_requisitos_pav_permeavel.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2023.

MARCONDES, Ricardo A. C. **Estudo do uso das Tubulações de PEAD em Sistemas de Distribuição de Água no Brasil**. 2016. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

MORAES, Alexandre Perri de. Procedimentos técnicos de dimensionamento da microdrenagem do município de Santo André. In: XIX EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO, Minas Gerais, mai., 2015. **Anais [...]**. Belo Horizonte: 2012.

NGUYEN, Khanh Q. *et al.* Long-term testing methods for HDPE pipe-advantages and disadvantages: a review. **Engineering Fracture Mechanics**, v. 246, p. 107629, 2021.

NUVOLARI, Ariovaldo (Coord.). **Esgoto sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2014. 562 p.

PAULA, Jessica Soares de. Execução de obras de drenagem pluvial: princípios empregados na construção de redes de drenagem urbana. **Revista Interdisciplinar Pensamento Científico**, v. 3, n. 2, p. 202-220, dez. 2017.

PERES, Fabiano Moreno. **Desenvolvimento de métodos alternativos para a avaliação da resistência à fratura por fluência de resinas de polietileno utilizadas para a extrusão de tubos de água**. 2005. 168f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) - Universidade de São Paulo.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO. **Cadernos temáticos**: drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Jun. 2016. Disponível em: <file:///C:/Users/abnt_/Downloads/72c03623-99ee-40d8-b1e8-107c182daf8e.pdf>. Acesso em: 22 junho 2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE-PBH. **Instrução técnica para elaboração de estudos e projetos de drenagem**. Belo Horizonte, abr. 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/abnt_/Downloads/Cap%C3%ADtulo4_Microdrenagem%20e%20Controles%20Regionais_0.pdf>. Acesso em: 22 junho 2023.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE -PBH. Prefeitura inicia construção de bacia de detenção na avenida Teresa Cristina. **PBH** [online], jul. 2020. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/noticias/prefeitura-iniciou-construcao-de-bacia-de-detencao-na-avenida-teresa-cristina>. Acesso em: 16 mar. 2023.

RELVAS, Fernando J; GIMENEZ, Alírio Brasil; SEGNINI, Marco Aurélio W. Como construir: galerias de drenagem de águas pluviais com tubos de concreto. **Revista Techne**, Editora Pini, 93. ed., dez. 2004.

ROCHA, Aristides Almeida. **Histórias do saneamento**. São Paulo: Blucher, 2016. 152 p.

RODRIGUES, Gizella. Detalhes no cuidado com as cidades: GDF Presente é destacado para ajudar na recuperação de meios-fios. Serviços de pintura, só depois de nivelar a guia. **Agência Brasília** [online], out. 2020. Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2020/10/08/detalhes-no-cuidado-com-as-cidades/>. Acesso em: 22 junho 2023.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. Enchentes: ajardinem suas calçadas. **IBDA** [online], abr. 2023. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=985>>. Acesso em: 06 abr. 2023.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. **Drenagem urbana**: aspectos de gestão. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

SOUZA, Victor Gabriel Alves de *et al.* Construção de trincheira de infiltração aplicada como técnica compensatória em uma bacia urbana na cidade do Recife-PE. In: XII ENAU - ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 2018, Maceió. **Anais...** Alagoas: ENAU, 2018, p. 01-09. ISSN: 2359-1897.

SUZUKI, Carlos Yukio; AZEVEDO, Angela Martins; KABBACH JUNIOR, Felipe Issa. **Drenagem superficial de pavimentos**: conceitos e dimensionamento. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

TERRAPLANAGENS ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES. **Assentamentos de tubos**. Disponível em: <<https://mpterraplanagem.com.br/drenagem-com-manilhas/>>. Acesso em: 22 junho 2023.

TOMAZ, Plínio. **Curso de manejo de águas pluviais**. Guarulhos: Plínio Tomaz, 2012. 422 p.

Tubos de PEAD: mitos e verdades. ADSTIGRE [online], ago., 2017. Disponível em: <<https://www.tigre-ads.com/brasil/tubos-de-pead-mitos-e-verdades/>>. Acesso em: 06 abr. 2023.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: UFRGS, 2005. 194 p.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli *et al.* **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2007.

TVG SERVIÇOS. **Tubos de PEAD**. Disponível em: <<https://tvgservicos.com.br/tubos-de-pead/>>. Acesso em: 22 junho 2023.

WONG, Luiz S.; NEHDI, Moncef L. Critical analysis of international precast concrete pipe standards. **Infrastructures**, v. 3, n. 3, p. 18, 2018.