

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES

ENGENHARIA DE TRANSPORTES

Ícaro Vinícius Chaves Silva

Análise de execução de gaiolas de coleta de resíduos sólidos no sistema de drenagem do estacionamento do Campus Nova Suíça – CEFET-MG, em Belo Horizonte, MG

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Belo Horizonte – MG

2026

Ícaro Vinícius Chaves Silva

Análise de execução de gaiolas de coleta de resíduos sólidos no sistema de drenagem do estacionamento do Campus Nova Suíça – CEFET-MG, em Belo Horizonte, MG

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Atividade de Projeto Final de Curso II, do curso de Graduação em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Magela Damasceno

Coorientador: Prof. Mário de Souza Silva

Silva, Ícaro Vinícius Chaves.
S586a Análise de execução de gaiolas de coleta de resíduos sólidos no sistema de drenagem do estacionamento do Campus Nova Suíça – CEFET-MG, em Belo Horizonte, MG / Ícaro Vinícius Chaves Silva. – 2026.
81 f. : il.
Orientador: Geraldo Magela Damasceno.
Coorientador: Mário de Souza Silva.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Graduação em Engenharia de Transportes, Belo Horizonte, 2026.
Bibliografia.
1. Engenharia de Transportes. 2. Escoamento urbano. 3. Resíduos sólidos. 4. Bueiros - Manutenção e reparos. 5. Águas pluviais. I. Damasceno, Geraldo Magela. II. Silva, Mário de Souza. III. Título.
CDD: 628.23



FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC Nº 10 / 2026 - CETR (11.51.07)

Nº do Protocolo: 23062.035381/2026-66

Belo Horizonte-MG, 08 de julho de 2026.

Ícaro Vinícius Chaves Silva

**ANÁLISE DE EXECUÇÃO DE GAIOLAS DE COLETA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO SISTEMA DE
DRENAGEM DO ESTACIONAMENTO DO CAMPUS NOVA SUÍÇA DO — CEFET-MG, EM BELO
HORIZONTE-MG**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à Atividade de Projeto Final de Curso II, do curso de Graduação em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em 18 de junho de 2026

Banca examinadora:

Dr. Geraldo Magela Damasceno — Orientador

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG

M.e Mário de Souza Silva — Coorientador

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG

Dr. André Henrique Campos Teixeira

Dr. Mateus Justino da Silva

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - CEFET-MG

BELO HORIZONTE
2026

(Assinado digitalmente em 09/07/2026 10:52)
ANDRE HENRIQUE CAMPOS TEIXEIRA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DET (11.55.11)
Matrícula: 2089478

(Assinado digitalmente em 09/07/2026 10:08)
GERALDO MAGELA DAMASCENO
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DET (11.55.11)
Matrícula: 1450794

(Assinado digitalmente em 09/07/2026 10:17)
MARIO DE SOUZA SILVA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DET (11.55.11)
Matrícula: 1812301

(Assinado digitalmente em 09/07/2026 10:32)
MATEUS JUSTINO DA SILVA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO
DET (11.55.11)
Matrícula: 3568965

Visualize o documento original em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **10**, ano: **2026**, tipo: **FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC**, data de emissão:
08/07/2026 e o código de verificação: **be35afeaaa**

AGRADECIMENTOS

A conclusão desta jornada acadêmica e a materialização deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) não seriam possíveis sem o apoio inestimável de pessoas e instituições que moldaram meu aprendizado e dedicação.

Em primeiro lugar, à minha família, meu porto seguro e a base de toda a minha formação. Agradeço profundamente por todo o suporte incondicional e o incentivo constante para que eu continuasse estudando e buscando o aprimoramento. Vocês são a minha maior inspiração.

Ao Doutor Geraldo Magela, minha sincera gratidão. Um professor verdadeiramente fantástico, cuja paixão pela docência e dedicação em fazer de tudo para que seus alunos atingissem seus objetivos acadêmicos foram cruciais para a minha trajetória.

Aos meus amigos, companheiros de uma jornada que começou no Ensino médio e se solidificou ao longo dos anos: Otávio Campos, Carlos Augusto, Daniel Cassiano, Rodrigo Marrocos, Daniel Cornélio, Matheus Paulino e Henrique Cardoso. A amizade que construímos foi fundamental para a base do meu aprendizado, tanto no âmbito acadêmico quanto social, e carrego com carinho cada momento compartilhado.

À Engenheira Debora Barroso, o meu agradecimento especial por ter compartilhado, com tamanha excelência, seu conhecimento sobre drenagem rodoviária durante o meu período de estágio na Strata Engenharia. Seus ensinamentos foram o catalisador que despertou a minha paixão pela área, direcionando, em grande parte, os rumos deste trabalho.

À empresa Strata Engenharia, sou grato pelo período de formação e crescimento. O profissional que sou hoje passa, inegavelmente, pelo aprendiz que fui no setor de levantamento de campo. Foi um ambiente de valioso aprendizado prático e desenvolvimento.

Por fim, e não menos importantes, aos meus companheiros de trabalho: Raphael Evangelista, Vitor Augusto e Lucas Cesar. Agradeço pela parceria de longa data e por serem companheiros dedicados nesta desafiadora e recompensadora jornada profissional.

SILVA, Ícaro Vinícius Chaves. **Análise de execução de gaiolas de coleta de resíduos sólidos no sistema de drenagem do estacionamento do Campus Nova Suíça – CEFET-MG, em Belo Horizonte, MG.**2026. 76 f. Atividade de Projeto Final de Curso (Graduação) – Engenharia de Transportes. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2026.

Resumo

A expansão urbana desordenada e o aumento da impermeabilização do solo, características de metrópoles como Belo Horizonte (MG), têm agravado os desafios na gestão das águas pluviais. Este cenário resulta em inundações frequentes e na sobrecarga dos sistemas de drenagem. Um dos fatores mais críticos para essa ineficiência é a obstrução de bocas de lobo causada pelo descarte inadequado e pelo acúmulo de resíduos sólidos, o que, por sua vez, eleva substancialmente os custos operacionais de limpeza e manutenção. O objetivo principal deste estudo foi analisar a viabilidade e a eficácia da execução de gaiolas coletoras de resíduos sólidos como medida mitigatória. Para tal, foram implantados dois dispositivos-piloto em caixas de captação distintas, localizadas no sistema de drenagem do estacionamento do Campus Nova Suíça – CEFET-MG. A escolha deste local foi estratégica, uma vez que a área apresenta uma significativa presença de árvores e uma alta concentração de pessoas (circulação de estudantes, professores e servidores), o que naturalmente contribui para um grande volume de detritos e lixo levados pela água da chuva. A metodologia envolveu a instalação das gaiolas coletoras e a monitorização sistemática das estruturas no período entre dezembro e abril, abrangendo o pico da temporada de chuvas. As análises consistiram na quantificação gravimétrica e na caracterização qualitativa dos materiais retidos. Os resultados demonstraram que o contexto local e o tipo de grelha de superfície influenciam diretamente a capacidade de intercepção. A gaiola sob a grelha de vãos amplos (Gaiola 2) interceptou um volume expressivo de resíduos, como folhas, galhos, plásticos e embalagens, registrando uma taxa específica de retenção de massa quase 64% superior à da unidade restritiva central (Gaiola 1). Dessa forma, comprovou-se que o dispositivo é capaz de reter poluentes grosseiros na fonte, prevenindo o entupimento das tubulações subterrâneas e otimizando o fluxo da água. Em conclusão, este estudo forneceu dados práticos empíricos que validaram a viabilidade técnica e a aplicabilidade da solução. A implementação da gaiola coletora revelou-se uma ferramenta de engenharia e gestão eficaz, com potencial para reduzir os custos de manutenção do sistema de drenagem e mitigar os riscos de alagamentos na cidade de Belo Horizonte.

Palavras-chave: Drenagem Urbana. Resíduos Sólidos. Belo Horizonte. Gaiolas Coletoras. Gestão de Águas Pluviais.

SILVA, Ícaro Vinícius Chaves. **Analysis of the execution of solid waste collection cages in the drainage system of the Nova Suíça Campus parking lot – CEFET-MG, in Belo Horizonte, MG.** 2026. 76f. Final Course Project Activity (Undergraduate) – Transportation Engineering. Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, 2026.

Abstract

Disorganized urban expansion and increased soil impermeabilization, characteristic of metropolises like Belo Horizonte (MG), have exacerbated the challenges in stormwater management. This scenario results in frequent flooding and the overloading of drainage systems. One of the most critical factors for this inefficiency is the obstruction of catch basins caused by improper disposal and the accumulation of solid waste, which, in turn, substantially increases operational costs for cleaning and maintenance. The main objective of this study was to analyze the feasibility and effectiveness of implementing solid waste collection cages as a mitigating measure. To this end, two pilot devices were installed in distinct catch basins located in the drainage system of the Nova Suíça Campus parking lot at CEFET-MG. The choice of this location was strategic, as the area has a significant presence of trees and a high concentration of people (circulation of students, professors, and staff), which naturally contributes to a large volume of debris and litter carried by rainwater. The methodology involved the installation of the collection cages and the systematic monitoring of the structures between December and April, covering the peak of the rainy season. The analyses consisted of the gravimetric quantification and qualitative characterization of the retained materials. The results demonstrated that the local context and the type of surface grate directly influence the interception capacity. The cage under the wide-gap grate (Cage 2) intercepted a significant volume of waste, such as leaves, branches, plastics, and packaging, registering a specific mass retention rate almost 64% higher than that of the central restrictive unit (Cage 1). Thus, it was proven that the device is capable of retaining gross pollutants at the source, preventing the clogging of underground pipes and optimizing water flow. In conclusion, this study provided practical empirical data that validated the technical feasibility and applicability of the solution. The implementation of the collection cage proved to be an effective engineering and management tool, with the potential to reduce drainage system maintenance costs and mitigate the risks of flooding in the city of Belo Horizonte..

Keywords: Urban Drainage. Solid Waste. Belo Horizonte. Collector Cages. Stormwater Management.

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
CCNC	Comissão Construtora da Nova Capital
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais
DER-SP	Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DUS	Drenagem Urbana Sustentável
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GPTs	Gross Pollutant Traps (Armadilhas de Poluentes Grosseiros)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDFs	Intensidade-Duração-Frequência
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OACs	Obras de Arte Correntes
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SUDECAP	Superintendência de Desenvolvimento da Capital (Belo Horizonte)
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Bueiros pluviais CEFET-MG.....	22
Figura 2-Material coletado dos bueiros pluviais CEFET-MG	22
Figura 3-Representação da bacia Hidrográfica.....	25
Figura 4-Mapa das Bacias hidrográficas de Minas Gerais	26
Figura 5-Mapa das Bacias hidrográficas de Belo Horizonte	27
Figura 6-Rio Arrudas, avenida dos Andradas.....	29
Figura 7- Canal do Córrego do Acaba Mundo, Avenida Afonso Pena, 1929	30
Figura 8- Canal do Córrego do Leão, final da década de 1960.....	31
Figura 9- Caixa de captação do correjo Vilarinho.....	32
Figura 10- Representação da macro e microdrenagem.....	33
Figura 11- Representação da microdrenagem	35
Figura 12- Representação bueiro tipo boca de lobo.....	36
Figura 13- boca de lobo cheia de resíduos, Belo Horizonte, 2022	37
Figura 14- Representação dos fatores do dimensionamento.....	38
Figura 15- Assorimento do correjo Ressa, altura do bairro Castelo.....	42
Figura 16- Vista aérea do CEFET-MG, campus Nova Suíça.	45
Figura 17- Local de implantação bueiro 1	46
Figura 18- Local de implantação bueiro 2	46
Figura 19- Mapa de localização e disposição espacial dos bueiros monitorados no parque de estacionamento do Campus Nova Suíça.....	47
Figura 20- Base e balança de precisão	48
Figura 21- Peso da base x tara da base.....	48
Figura 22- Pesagem do material coletado.....	49
Figura 23- Medição gravimétrica do material interceptado pela Gaiola 1 no dia 28 de dezembro.....	57
Figura 24- Medição gravimétrica do material interceptado pela Gaiola 1 no dia 31 de janeiro.....	57
Figura 25- Grelha superior da galeria pluvial (Gaiola 1), responsável pela retenção primária na superfície.....	58

Figura 26- Triagem manual e caracterização qualitativa da amostra de 28 de dezembro/2025 (Gaiola 1).....	58
Figura 27- Triagem manual e caracterização qualitativa da amostra de 31 de janeiro/2026 (Gaiola 1).....	59
Figura 28- Medição gravimétrica de 14/Jan coletada na Gaiola 2.	61
Figura 29- Medição gravimétrica de 21/Jan coletada na Gaiola 2.	62
Figura 30- Medição gravimétrica de 31/Jan coletada na Gaiola 2.	62
Figura 31- Medição gravimétrica de 19/fev coletada na Gaiola 2	63
Figura 32- Medição gravimétrica de 18/abr coletada na Gaiola 2.....	63
Figura 33- Grelha superior do bueiro (Gaiola 2),.....	64
Figura 34- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas na Gaiola 2 (14/01).....	65
Figura 35- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas na Gaiola 2 (21/01).....	65
Figura 36- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas na Gaiola 2 (31/01).....	66
Figura 37- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas na Gaiola 2 (19/02).....	66
Figura 38- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas na Gaiola 2 (18/04).....	67
Figura 39- Registo gravimétrico das amostras de material depositado no fundo do bueiro(31/01).....	69
Figura 40- Registo gravimétrico das amostras de material depositado no fundo do bueiro(19/02).....	70
Figura 41- Registo gravimétrico das amostras de material depositado no fundo do bueiro(26/02).....	70
Figura 42- Registo gravimétrico das amostras de material depositado no fundo do bueiro(18/04).....	70
Figura 43- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas fundo do bueiro(31/01).....	72
Figura 44- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas fundo do bueiro(19/02	72
Figura 45- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas fundo do bueiro(26/02	73
Figura 46- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas fundo do bueiro(18/04).....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Parametros de coeficiente de escoamento	39
Tabela 2 – Dias de coleta Gaiola 1	50
Tabela 3 – Dias de coleta Gaiola 2	50
Tabela 4 – Dias de coleta Material de fundo	50
Tabela 5-Panorama da coleta da gaiola 1.....	75
Tabela 6-Panorama da coleta da gaiola 2.....	75

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1. Problemas e premissas	19
1.2. Objetivos	20
1.3. Objetivo Geral	20
1.4. Objetivo específico	20
1.5. Justificativa da pesquisa.....	21
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
2.1. Conceitos fundamentais da pesquisa	24
2.2. Bacia Hidrográfica, Sub-bacias e o Contexto de Belo Horizonte.....	24
2.2.1. Sub-bacias.....	26
2.2.2. Sub-bacias em Belo Horizonte	27
2.3. Drenagem Urbana: Histórico e Conceito	28
2.4. Microdrenagem e Macrodrenagem.....	32
2.4.1. Macrodrenagem.....	33
2.4.2. Microdrenagem	34
2.5. Bueiro	35
2.5.1. Boca de Lobo	36
2.5.2. Dimensionamento de Boca de Lobo	37
2.5.3. Vazão de projeto.....	38
2.5.4. Método Racional.....	39
2.5.5. Intensidade Máxima de Precipitação.....	40
2.5.6. Período de Retorno	40
2.5.7. Tempo de Concentração	41
2.6. Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana	41
2.7. Estruturas de Retenção de Resíduos (Gaiolas Coletoras)	43
2.7.1. Conceitos e Aplicações dos GPTs.....	43
2.7.2. Vantagens Operacionais e Ambientais dos Dispositivos de Retenção.....	44
3. METODOLOGIA:	45
3.1. Local de Estudo	45
3.2. Coleta e Análise de Dados	47
3.2.1. Período e Frequência de Coleta	49
3.2.2. Quantificação e Caracterização dos Resíduos.....	50
4. INFRAESTRUTURA E RECURSOS NECESSARIOS	51
4.1. Projeto executivo e de Implantação das Gaiolas Coletoras	51
4.2. Especificações Geométricas Gaiola 1.....	53
4.2.1. Especificações Geométricas Gaiola 2.....	53

4.3.	Especificações de Material	54
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1.	Análise Gravimétrica do material interceptado pela Gaiola 1.....	55
5.2.	Análise Qualitativa do material interceptado pela Gaiola 1	58
5.3.	Análise Gravimétrica do material interceptado pela Gaiola 2.....	60
5.4.	Análise Qualitativa da Gaiola 2	64
5.5.	Análise Quantitativa e Qualitativa do Material de Fundo	68
5.5.1.	Avaliação Gravimétrica do Material de Fundo	68
5.5.2.	Caracterização Qualitativa do Material de Fundo	71
5.5.3.	Análise Comparativa do Desempenho dos Dispositivos	74
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO	77
7.	TRABALHOS FUTUROS.....	79
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	80

1. INTRODUÇÃO

A gestão da infraestrutura urbana em grandes metrópoles, como Belo Horizonte, enfrenta desafios crescentes decorrentes do rápido crescimento demográfico e da expansão da área construída. O aumento da impermeabilização do solo – seja por edificações ou pavimentação – resulta na redução da infiltração natural da água da chuva e, conseqüentemente, no aumento drástico do escoamento superficial (TUCCI, 2008). Este fenômeno sobrecarrega o sistema de micro e macrodrenagem, potencializando a ocorrência de inundações em áreas urbanas.

Um agravante fundamental nesse cenário é a interação entre o ciclo hidrológico e a ineficiência da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU). O material particulado, detritos e lixo depositados nas vias são carregados pelo escoamento superficial, sendo direcionados para as bocas de lobo e galerias pluviais. A obstrução desses dispositivos de coleta por RSU e sedimentos diminui a capacidade hidráulica da rede, elevando a lâmina d'água nas vias e exigindo intervenções de manutenção corretiva de alto custo (NEVES; TUCCI, 2003).

A Tese de Doutorado de Neves (2006) e o estudo de Neves e Tucci (2003) destacam que o aumento populacional e a urbanização acelerada estão diretamente ligados ao aumento da produção de resíduos sólidos, originando danos ao meio ambiente urbano quando não gerenciados adequadamente. A quantificação dessas cargas é crucial para a avaliação do impacto e para o projeto de medidas estruturais para o seu controle (NEVES, 2006).

É nesse contexto que se insere a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei n.º 12.305/2010, que estabelece princípios, objetivos e instrumentos para a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos, visando à proteção da saúde pública e à qualidade ambiental. No entanto, apesar do marco regulatório, a implementação de soluções eficazes na interface entre o saneamento básico e a limpeza urbana, como as estruturas de retenção, ainda carece de estudos de caso práticos e quantificáveis.

A capital mineira, Belo Horizonte, é frequentemente palco de eventos de precipitação intensa que expõem a fragilidade de sua infraestrutura de drenagem. O histórico de inundações recorrentes em diversas regiões da cidade, muitas vezes associado ao colapso do sistema de escoamento superficial por conta do acúmulo de detritos em bueiros e galerias, reforça a urgência na adoção de medidas de controle na fonte. Diante da necessidade de soluções proativas para mitigar os impactos ambientais e socioeconômicos

desses eventos, este trabalho se justifica como um estudo prático de intervenção pontual e gerenciável.

1.1.Problemas e premissas

O problema central desta pesquisa residiu na recorrência de obstruções e na diminuição da eficiência do sistema de microdrenagem em ambientes urbanos com características de alta concentração de detritos. Especificamente, o foco deste trabalho foi análise do sistema de drenagem do estacionamento do Campus Nova Suíça – CEFET-MG, em Belo Horizonte.

As grelhas de águas pluviais selecionadas para o estudo estão localizadas em uma área de intensa circulação de veículos e pedestres, além de possuir uma significativa presença de árvores (área vegetada adjacente) e com alta inclinação longitudinal no patio de estacionamento do Campus Nova suíça, CEFET_MG. Essa condição particular contribui para um volume considerável de resíduos orgânicos (folhas e galhos) e inorgânicos (lixo, embalagens) que são transportados pelo escoamento superficial em direção aos tubos coletores durante as precipitações. A ineficiência no ponto de coleta pode resultar no entupimento da tubulação a jusante, comprometendo a funcionalidade de todo o sistema. Em estudos sobre sistemas de retenção, constatou-se que a principal constituição dos resíduos é frequentemente a matéria orgânica (folhas, restos de vegetação), representando mais da metade da massa total quantificada, seguida de plásticos.

Diante do problema exposto, o trabalho fundamentou-se nas seguintes premissas:

- I. Premissa da Eficácia: A implementação de um dispositivo de retenção primária, como a gaiola coletora de resíduos sólidos, é uma solução viável para interceptar a maior parte dos detritos (grossos e finos) na fonte, antes que eles adentrem o sistema subterrâneo de drenagem, conforme proposto em estudos de Armitage et al. (1998) e Armitage e Rooseboom (2000).
- II. Premissa da Análise: A avaliação quantitativa e qualitativa dos resíduos coletados pela gaiola, em um período de monitoramento diário ou semanal, especialmente durante o período chuvoso (Dezembro a fevereiro), forneceu dados robustos para mensurar a eficácia real do dispositivo e sua contribuição na prevenção de entupimentos.
- III. Premissa da Replicabilidade: Os resultados obtidos no estudo de caso controlado (estacionamento do CEFET-MG) foram extrapoláveis, fornecendo subsídios técnicos para a adoção de soluções similares em outros bueiros e

calhas (tipo grelha horizontal) localizados em áreas urbanas com características ambientais e de uso semelhantes.

A partir dessas considerações, o desenvolvimento desta pesquisa buscou e conseguiu analisar a execução e o desempenho da gaiola coletora, comprovando seu potencial como uma ferramenta de gestão pró-ativa e sustentável para a infraestrutura de drenagem urbana.

Sendo assim as perguntas desta pesquisa foram: Que tipo de dispositivo (gaiola) deverá ser confeccionada? Qual o volume/massa que ela coletará? E seu desempenho condiz com a relação custo/benefício?

1.2. Objetivos

1.3. Objetivo Geral

Analisar a eficácia da execução e o desempenho de duas gaiola coletora de resíduos sólidos na redução do acúmulo de detritos em uma boca de lobo específica no sistema de drenagem do patio estacionamento principal do Campus Nova Suíça – CEFET-MG, em Belo Horizonte, MG, visando mitigar o risco de entupimento e inundações localizadas

1.4. Objetivo específico

- I. **Implantar** a gaiola coletora de resíduos sólidos na boca de lobo selecionada, garantindo sua correta execução e funcionalidade no sistema de microdrenagem.
- II. **Monitorar** e quantificar volumetricamente os resíduos sólidos retidos pela gaiola diariamente, no período de dezembro a junho, com foco na estação chuvosa.
- III. **Caracterizar qualitativamente** os resíduos sólidos coletados, identificando as frações predominantes (matéria orgânica, plásticos, sedimentos, etc.) e correlacionando-as com a geração de detritos na área de contribuição do estacionamento.
- IV. **Avaliar a funcionalidade hidráulica** da gaiola coletora, verificando se a estrutura impede o entupimento da tubulação a jusante sem comprometer o escoamento superficial em eventos de precipitação intensa.
- V. **Propor recomendações** para a replicabilidade da solução em outros pontos críticos da rede de drenagem urbana de Belo Horizonte e para otimizar os processos de limpeza e manutenção do dispositivo.

1.5. Justificativa da pesquisa

A relevância desta atividade de Conclusão de Curso se manifestou em três dimensões cruciais: a técnica, a institucional e a ambiental-social.

Do ponto de vista Técnico-Científico, o estudo preencheu uma lacuna importante na literatura nacional ao fornecer dados primários e quantificados sobre a eficácia de dispositivos de retenção de resíduos sólidos aplicados diretamente na microdrenagem em um contexto real de uso do solo (estacionamento com influência de vegetação e tráfego). A quantificação dos resíduos coletados e a caracterização da sua composição permitiu a validação empírica de uma solução de engenharia de baixo custo e alta eficiência, subsidiando futuras tomadas de decisão e projetos em gestão de águas pluviais.

A relevância deste estudo fundamentou-se na necessidade de transformar a gestão da infraestrutura de drenagem do patio de estacionamento do Campus Nova Suíça, CEFET_MG, de um modelo reativo para um modelo preventivo e de fácil execução. Atualmente, a dimensão Institucional da pesquisa revela um desafio operacional constante: a necessidade de intervenções corretivas frequentes para desobstruir estruturas que perdem sua funcionalidade devido ao acúmulo severo de detritos.

A existência desse problema foi comprovada pelas evidências colhidas diretamente no sistema de drenagem do Campus Nova Suíça. As Figuras 1 e 2 demonstram bueiros em pontos distintos que apresentam colmatção quase total da seção de entrada por biomassa e sedimentos, o que compromete o fluxo das águas pluviais e sobrecarrega a equipe de manutenção local.

Figura 1-Bueiros pluviais CEFET-MG

Fonte: Autor

Figura 2-Material coletado dos bueiros pluviais CEFET-MG

Fonte: Autor

Na Figura 2 observamos o volume enorme retirado manualmente das grelhas pluviais do Campus Nova Suíça. Por fim, no aspecto Ambiental e Social, o trabalho justificou-se pela sua contribuição para a mitigação de riscos urbanos. A prevenção de obstruções na boca de lobo não só reduz a probabilidade de alagamentos e o consequente transtorno à comunidade acadêmica e ao tráfego local, mas também impede que grandes volumes de lixo e detritos sejam carregados para corpos hídricos a jusante. Ao reter os resíduos na fonte, o dispositivo apoia os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos e promove uma gestão mais limpa e responsável do ciclo da água na cidade.

Este conjunto de fatores atestou a relevância do presente estudo como um contributo significativo para a área de Engenharia de Transportes e Engenharia Civil, oferecendo uma solução prática e mensurável para um problema crônico da infraestrutura urbana.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Conceitos fundamentais da pesquisa

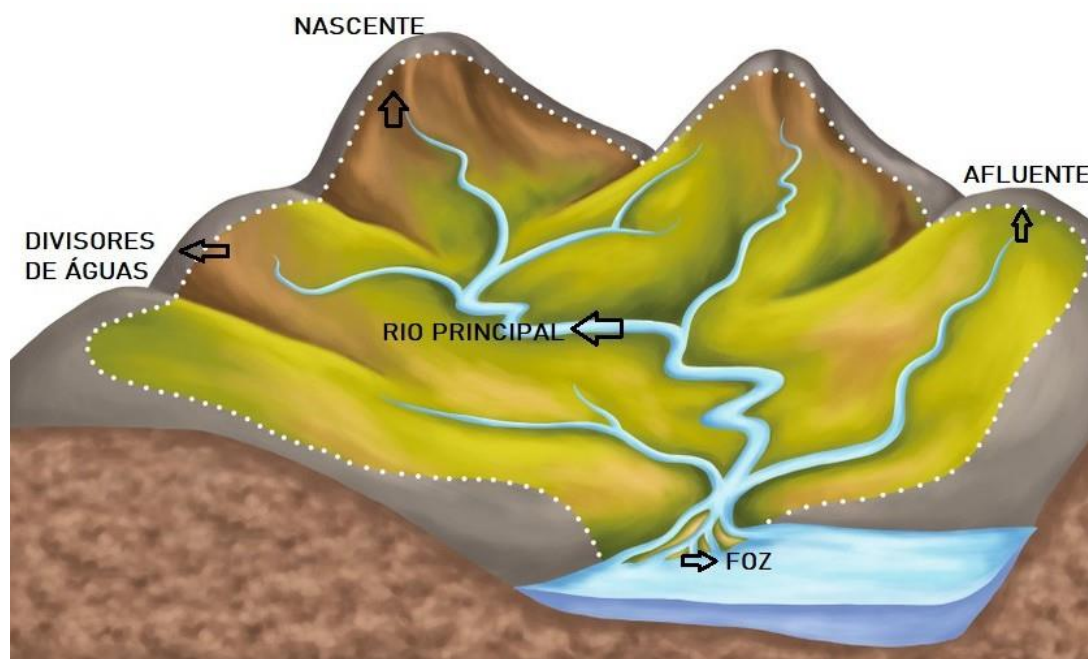
O presente capítulo tem por finalidade apresentar o embasamento teórico e conceitual necessário para a compreensão e desenvolvimento do tema proposto, abordando desde os conceitos fundamentais de bacias hidrográficas e drenagem urbana até as especificidades técnicas da micro e macrodrenagem e das estruturas de controle de resíduos sólidos.

2.2. Bacia Hidrográfica, Sub-bacias e o Contexto de Belo Horizonte

A bacia hidrográfica é a unidade territorial básica para o estudo, planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. De acordo com a definição clássica e amplamente aceita, bacia hidrográfica é uma área do terreno drenada por um curso d'água principal e seus afluentes. Sua delimitação é realizada pelos divisores de água topográficos – as linhas de cumeada ou o topo das elevações que separam o escoamento superficial em direção a diferentes sistemas fluviais (TUCCI, 2008).

Essa unidade funcional engloba não apenas o canal fluvial, mas toda a área de contribuição que capta e armazena a precipitação, liberando-a gradativamente por meio de escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo. A bacia hidrográfica é, portanto, um sistema aberto e interdependente, onde qualquer intervenção no solo ou no ciclo hidrológico em um ponto pode gerar consequências em toda a sua extensão, especialmente a jusante (Figura 3).

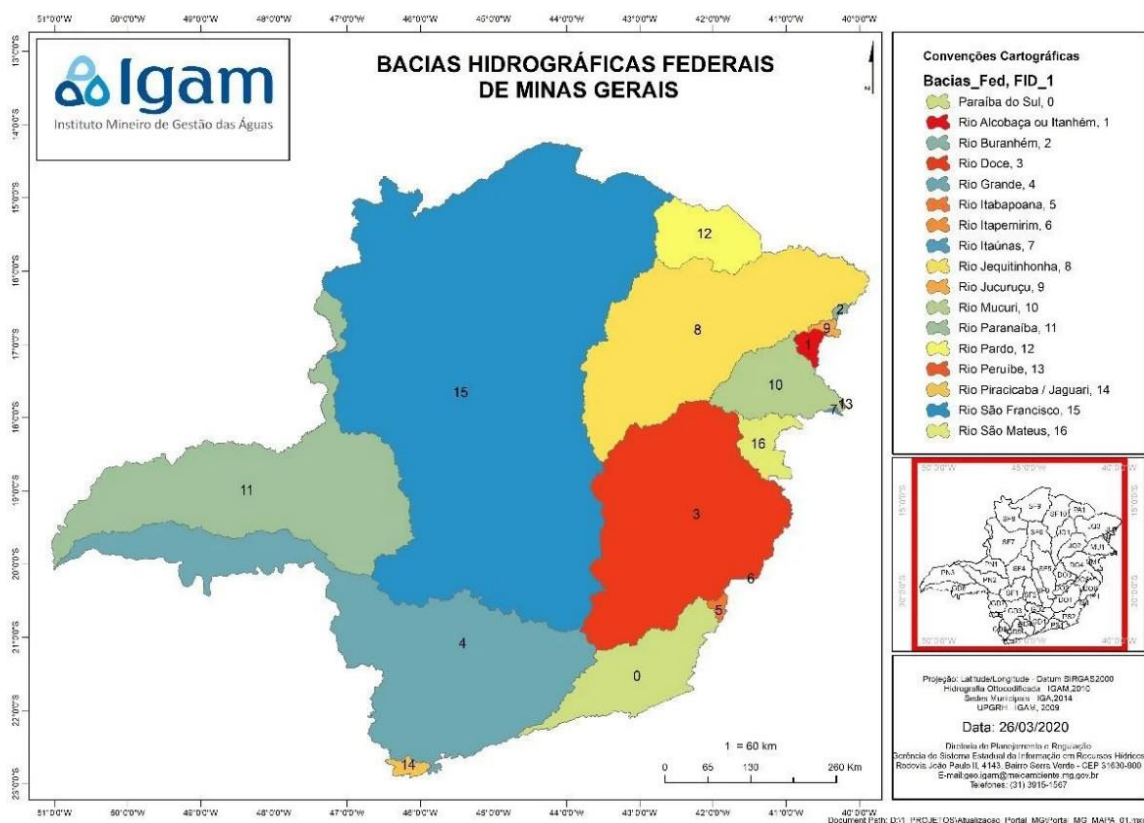
Figura 3-Representação da bacia Hidrografica



Fonte: Mundo Educação.

As bacias hidrográficas que cortam o estado de Minas Gerais possuem uma dimensão continental, destacando-se a Bacia do Rio São Francisco e a Bacia do Rio Doce como as mais representativas em termos de extensão, volume hídrico e importância econômica e social para o país. Dada a vasta área e a complexidade hidrológica dessas grandes bacias, torna-se inviável a gestão ou o estudo de fenômenos localizados em sua totalidade. É por essa razão que o gerenciamento e a pesquisa em recursos hídricos frequentemente se estruturam na análise de unidades menores, as sub-bacias, que permitem a focalização em problemas específicos de uma determinada região, como a drenagem urbana e o controle de resíduos sólidos (Figura 4).

Figura 4-Mapa das Bacias hidrográficas de Minas Gerais



Fonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam)

2.2.1. Sub-bacias

A bacia hidrográfica, sobretudo em grandes áreas ou em contextos urbanos complexos, é subdividida em unidades menores denominadas sub-bacias. Uma sub-bacia possui características análogas às da bacia principal (possuindo seus próprios divisores de água e cursos d'água internos), mas deságua em um afluente ou em um ponto específico do curso principal da bacia de nível hierárquico superior.

Em um contexto de drenagem urbana, o conceito de sub-bacia é essencial para o gerenciamento localizado, permitindo que os engenheiros e gestores urbanos avaliem o impacto da urbanização e planejem intervenções pontuais (como a implantação de

dispositivos de retenção) em áreas com características homogêneas de uso e ocupação do solo. A gestão descentralizada por sub-bacias facilita o controle de cheias e a gestão da qualidade da água (NEVES; TUCCI, 2003).

2.2.2. Sub-bacias em Belo Horizonte

Em um contexto de planejamento urbano, a bacia hidrográfica não é apenas uma área física, mas uma unidade de gestão que integra aspectos sociais, econômicos e ambientais. A forma como o solo é ocupado dentro de uma bacia afeta diretamente o ciclo hidrológico e a qualidade da água que a percorre. A substituição de áreas permeáveis por superfícies impermeáveis (pavimento, telhados) aumenta a velocidade e o volume do escoamento superficial (NEVES; TUCCI, 2003).

A cidade de Belo Horizonte está situada em uma região estratégica e complexa em termos hídricos, pertencendo à Bacia do Rio São Francisco e da Bacia do Rio Doce. Internamente, a drenagem da capital mineira é marcada por sub-bacias importantes, sendo as principais (Figura 5):

Figura 5-Mapa das Bacias hidrográficas de Belo Horizonte



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte.

I. Bacia do Ribeirão Arrudas: Considerada a espinha dorsal da cidade, atravessa o município no sentido Oeste-Leste, sendo a bacia mais impactada pela urbanização e por obras de retificação e canalização históricas.

II. **Bacia do Rio das Velhas:** Uma das principais contribuintes do Rio São Francisco, onde deságuam vários córregos e ribeirões da cidade.

III. **Bacia do Córrego do Onça:** Localizada na região Norte, também altamente urbanizada e historicamente problemática em relação a inundações

IV. **Bacia do ribeirão Isidoro:** Localizado na região norte de Belo Horizonte, fazendo divisa com o município de Santa Luzia. O corredor do isidoro é afluente do rio das Onças, que por sua vez desagua no rio das Velhas.

O estudo de caso no Campus Nova Suíça – CEFET-MG se insere diretamente na dinâmica dessas sub-bacias, onde o controle de resíduos sólidos é uma ação fundamental para a manutenção da funcionalidade do sistema hídrico urbano.

2.3. Drenagem Urbana: Histórico e Conceito

A Drenagem Urbana refere-se ao conjunto de medidas estruturais e não estruturais que visam manejar o escoamento superficial das águas pluviais em áreas urbanas, de modo a minimizar os riscos de inundações e os danos socioeconômicos e ambientais associados (MDR - Ministério de Desenvolvimento Regional, 2014). O Surgimento de Belo Horizonte e a Canalização dos Cursos d'Água

O planejamento de Belo Horizonte, idealizada no final do século XIX para ser a nova capital de Minas Gerais, foi marcado por uma visão modernista que buscava sanear e moldar o ambiente natural para a construção da cidade. Essa visão resultou na canalização de diversos cursos d'água que percorriam o perímetro urbano.

O sítio geográfico onde Belo Horizonte foi implantada é caracterizado pelo domínio do relevo de Mares de Morros, com colinas suaves e vales que naturalmente abrigavam numerosos cursos d'água. Essa geomorfologia, associada a uma hidrografia densa, tornou a intervenção nos cursos hídricos uma necessidade percebida pelos engenheiros da Comissão Construtora da Nova Capital (CCNC) para acomodar a malha geométrica da cidade planejada. A drenagem rápida das águas era vista como uma solução de saneamento para evitar a formação de pântanos e garantir a saúde pública da nova metrópole, levando à decisão de retificar e enterrar a maior parte dos córregos (ALMEIDA, 2021).

Historicamente, o traçado da cidade impôs a retificação e o enterramento de córregos para criar avenidas e ruas, o que resolveu problemas de saneamento e mobilidade da época, mas gerou as bases para os problemas de inundação atuais.

A história da drenagem urbana de Belo Horizonte é um reflexo do processo de urbanização acelerada, resultando na supressão de uma vasta rede hídrica. Estima-se que cerca de 165 km de cursos d'água foram canalizados e cobertos, transformando vales e leitos fluviais em grandes eixos viários, o que constitui um problema crônico de drenagem (BORSAGLI, 2016).

O principal curso d'água é o Ribeirão Arrudas (Figura 6), considerado a espinha dorsal da hidrografia da capital. Nasce na região da Serra do Rola Moça (Contagem) e percorre aproximadamente 47 km até sua foz no Rio das Velhas. Seu trecho urbano, com cerca de 37 km, foi submetido à intensa retificação e canalização, culminando na construção de importantes vias sobre sua calha, como a Avenida dos Andradas na área central e trechos da Avenida Teresa Cristina e Avenida Amazonas. Essa intervenção maciça o transformou em uma galeria, aumentando a velocidade do escoamento e transferindo o risco de inundação para jusante (REIS et al., 2012).

Figura 6-Rio Arrudas, avenida dos Andradas



Fonte: Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais (DER).

Outro afluente de grande relevância é o Córrego do Acaba Mundo, com nascente na vertente Oeste da Serra do Curral (região do Belvedere/Anchieta) (Figura 7).

Figura 7- Canal do Córrego do Acaba Mundo, Avenida Afonso Pena, 1929



Fonte: Acervo APM

Na Figura 7 observamos que este córrego teve seu curso canalizado e oculto em partes para permitir o desenvolvimento da região Centro-Sul. Sua canalização histórica, iniciada por volta de 1896-1897, selou o destino de suas várzeas, hoje ocupadas por áreas nobres da cidade.

O Córrego do Leitão é um afluente direto do Arrudas (Figura 8). Com nascente próxima à região da Praça da Assembleia/Lourdes, foi totalmente canalizado e corre sob importantes vias, como a Avenida Prudente de Moraes e outras artérias dos bairros Lourdes e Cidade Jardim. Sua supressão foi crucial para a consolidação da área Centro-Sul como polo de desenvolvimento urbano e comercial.

Figura 8- Canal do Córrego do Leítão, final da década de 1960



Fonte: Acervo APM

Já o Córrego do Onça drena a porção Norte da cidade, desaguardo no Rio das Velhas. Embora possua trechos a céu aberto, grandes extensões de seu leito foram canalizadas, e importantes avenidas como a Avenida Cristiano Machado e a Avenida Saramenha foram construídas margeando ou sobre sua calha em certos pontos. A bacia do Onça é notoriamente problemática devido à alta ocupação em áreas de várzea.

O sistema de drenagem da região de Venda Nova merece destaque especial devido aos eventos críticos de alagamento. O Córrego da Vilarinho e seus afluentes correm sob as Avenidas Vilarinho, Liege e Lareira. A intervenção nessa sub-bacia, que pertence ao sistema do Ribeirão Isidoro, resultou em canalizações de capacidade insuficiente para as cheias intensas. O problema é agravado pela alta impermeabilização e pela contribuição de resíduos sólidos, o que torna essa região um exemplo paradigmático da falência do modelo de drenagem rápida (Figura 9).

Figura 9- Caixa de captação do córrego Vilarinho



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte

A rede se completa com outros afluentes menores, mas estruturais para o sistema, como o Córrego do Mendonça/Zoológico e o Córrego dos Pintos, ambos canalizados em trechos de suas bacias de contribuição, consolidando o cenário de rios "escondidos" sob o asfalto. Essa abordagem histórica, que priorizou o saneamento e a ocupação da terra em detrimento da hidrologia natural, é a causa primária da vulnerabilidade hídrica atual da cidade, justificando o foco deste trabalho na mitigação dos impactos de resíduos na microdrenagem (TUCCI, 2008).

2.4. Microdrenagem e Macrodrenagem

O sistema de drenagem urbana é comumente dividido em dois subsistemas que atuam de forma integrada: a macrodrenagem e a microdrenagem conforme observamos na Figura 10.

Figura 10- Representação da macro e microdrenagem



Fonte: Paiva(2021).

2.4.1. Macro drenagem

A macrodrenagem é o subsistema de maior escala, responsável por receber as vazões de todo o sistema de microdrenagem e conduzi-las para os corpos receptores finais (rios, ribeirões). É a espinha dorsal do sistema pluvial. A macrodrenagem abrange os principais canais utilizados para o escoamento das vazões e é definida por:

- I. Estruturas de Grande Porte: Canais abertos ou galerias fechadas com dimensões expressivas, especificamente galerias tubulares com diâmetros iguais ou superiores a 1,20 m, ou galerias celulares cuja área da seção transversal seja igual ou superior a 1m², conforme definição técnica da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (BRASIL, 2011).
- II. Função Primária: Condução e manejo de vazões de projeto com altos períodos de retorno (geralmente entre 50 e 100 anos), visando a proteção de áreas de maior valor agregado ou densidade populacional (FUNASA, 2016).
- III. Obras Estruturais Complementares: Estruturas de controle de cheias, como reservatórios de retenção (piscinões) ou barragens, projetadas para amortecer os picos de vazão antes que a água atinja os canais principais em áreas críticas (TUCCI, 2004).

Em Belo Horizonte, a macrodrenagem é caracterizada pelos grandes canais retificados e cobertos do Ribeirão Arrudas e do Córrego do Onça. A eficácia da

macrodrenagem está diretamente ligada à sua capacidade de receber o fluxo da microdrenagem sem colapsar, sendo que a falha na coleta primária (obstrução) impacta diretamente a capacidade de vazão dos canais maiores.

2.4.2. Microdrenagem

A microdrenagem refere-se ao sistema de condutos pluviais que opera no nível de bairros ou na rede primária urbana. Esse sistema atua como uma ligação entre os dispositivos de drenagem superficial e os dispositivos de macrodrenagem, coletando e direcionando as contribuições provenientes das bocas de lobo ou caixas coletoras. De forma geral, engloba galerias tubulares com diâmetro igual ou superior a 0,30 m e inferior a 1,20 m, bem como galerias celulares com área de seção transversal inferior a 1m², conforme definição técnica da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (BRASIL, 2011). É composta por elementos visíveis na superfície e de fácil acesso, como:

- I. **Sarjetas e Meios-fios:** Estruturas de pedra ou concreto posicionadas entre a calçada e a estrada, seguindo a linha da rua, com o propósito de captar e direcionar a água da chuva superficial para os pontos de drenagem (VIEIRA, 2018; LIMA, 2019).
- II. **Sarjetões:** Sulcos presentes nas interseções de ruas, formados pela própria superfície pavimentada, projetados para guiar o fluxo da água sobre as guias de meio-fio (LIMA, 2019).
- III. **Bocas de Lobo (Bueiros):** São as infraestruturas hidráulicas projetadas para receber as águas provenientes da superfície, sendo o principal ponto de entrada de resíduos sólidos.
- IV. **Caixa coletora de rede pluvial e Galerias de pequeno diâmetro:** Estruturas utilizadas para captar e transportar as águas pluviais coletadas.
- V. **Poço de visita:** Elementos posicionados em locais estratégicos das galerias, com o objetivo de viabilizar alterações de trajeto, ajustes na inclinação, e permitir a inspeção e limpeza das canalizações (VIEIRA, 2018).

O sistema de microdrenagem é o foco primário deste estudo, pois a boca de lobo é o ponto onde o problema de obstrução por resíduos sólidos se manifesta de forma mais aguda e onde a gaiola coletora será instalada (Figura 11).

Figura 11- Representação da microdrenagem



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Sistema-de-microdrenagem_fig1_360617996

2.5. Bueiro

O termo Bueiro, no contexto da engenharia de drenagem rodoviária e urbana, refere-se, de maneira geral, a todo e qualquer dispositivo construído sob o leito de estradas ou ruas, que tem por finalidade permitir a passagem da água de um lado para o outro da via. De acordo com o Manual de Drenagem do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), o bueiro é "a estrutura destinada a dar passagem à água sob um aterro rodoviário".

Os bueiros são classificados em função de sua forma e dimensão, podendo ser utilizados para a passagem de cursos d'água permanentes ou apenas para o escoamento de águas pluviais. São divididos em:

- Bueiros de Seção Simples (Passagens inferiores): Estruturas tubulares ou celulares de seção geométrica (circular, retangular, celular) que se limitam a interceptar a passagem de pequenos cursos d'água ou vazões de microdrenagem sob a pista.
- Obras de Arte Correntes (OACs): Estruturas mais complexas, como pontilhões e galerias de grande porte, utilizadas para vazões significativas ou cursos d'água mais relevantes.

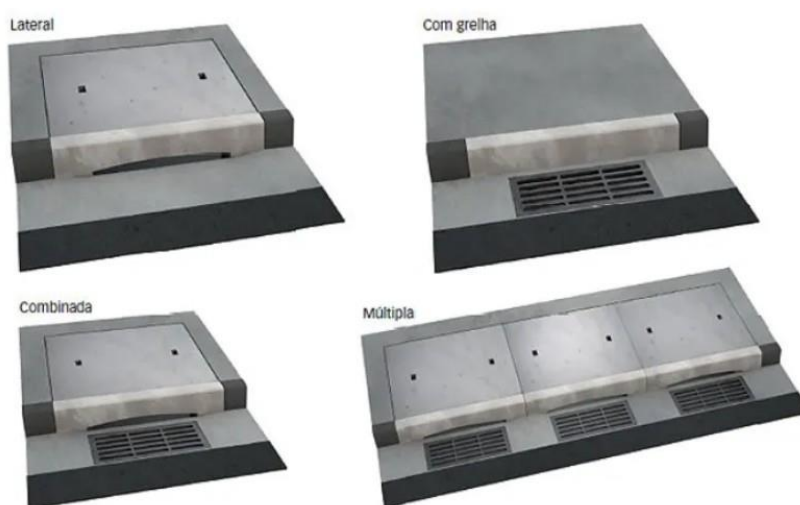
No sistema de drenagem urbana, o termo bueiro é frequentemente utilizado como sinônimo popular para as estruturas de captação localizadas nas sarjetas e calçadas.

2.5.1. Boca de Lobo

A boca de lobo é o principal dispositivo de captação da microdrenagem superficial. Essencialmente um tipo de bueiro especializado em ambientes urbanos, sua finalidade é coletar a água que escoa pelas sarjetas e meios-fios das vias públicas e direcioná-la para as galerias subterrâneas (Figura 12).

Segundo Coelho e Lima (2011), as categorias de dispositivos de drenagem amplamente empregados no Brasil são: a grelha simples (abertura na guia), a grelha com grade (abertura na sarjeta coberta por barras) e a combinação de grelha (união das duas anteriores). Essas estruturas podem estar acompanhadas ou não de rebaixamentos na sarjeta, utilizados para direcionar a vazão captada (DER-SP, 2011).

Figura 12- Representação bueiro tipo boca de lobo



Fonte: <https://portaldoprojetista.com.br/dimensionamento-de-boca-de-lobo-para-drenagem-urbana/>

As bocas de lobo são, no entanto, pontos de vulnerabilidade, pois se tornam frequentemente depósitos de lixo urbano. Os resíduos são arrastados pela água da chuva e podem obstruir a entrada, dificultando o escoamento adequado da água até sua destinação final nos corpos d'água naturais (SARIMIN et al., 2020). O uso de Grades ou telas nas bocas de lobo, ou armadilhas de resíduos (Gross Pollutant Traps - GPTs) instaladas em canais, é uma prática comum para impedir a entrada de lixo nos sistemas fluviais, sendo uma medida preventiva importante para o bom funcionamento da rede (SHAH et al., 2021). Conforme mostrado na Figura 13.

Figura 13- boca de lobo cheia de resíduos, Belo Horizonte, 2022



Fonte:Estado de Minas Gerais.

2.5.2. Dimensionamento de Boca de Lobo

O dimensionamento da boca de lobo é crucial para garantir que sua capacidade de captação seja suficiente para a vazão de projeto (LIMA, 2007).

Vertedouro e Orifício: A capacidade de coleta da boca de lobo varia conforme a altura da água e o tipo de dispositivo (WILKEN, 1977, *apud* LIMA, 2007). A captação por uma abertura na guia atua como um vertedouro (quando a altura da água é inferior à abertura, $\frac{y}{h} \leq 1$ e como um orifício (quando a altura da água é superior).

- I. **Boca de Lobo Convencional com Guia (Vertedouro):** Quando a captação se dá predominantemente pelo efeito de vertedouro, a vazão é determinada pela Equação 1 (LIMA, 2007):

$$Q = 1,703 \cdot L \cdot y^{(3/2)} \text{ Equação (1)}$$

Onde:

Q é a vazão máxima captada (**m³/s**)

L é o comprimento da abertura na guia (**m**), e

y é a altura da abertura da guia (**m**).

- II. **Boca de Lobo com Grelha:** A captação através da grelha é influenciada pelo perímetro e pelo nível d'água (Figura 14). Quando a altura da lâmina d'água sobre a grelha é de até 12 cm, a capacidade de coleta é determinada pela Equação 2 (LIMA, 2007), determinada pela Equação 2:

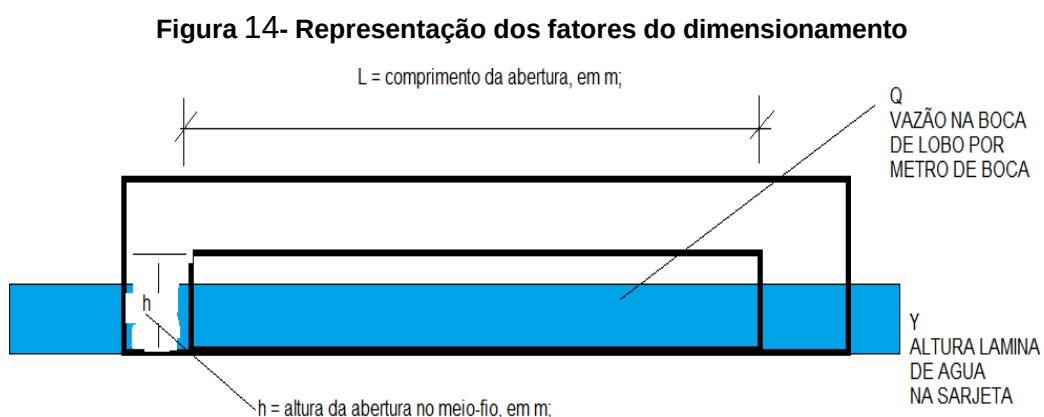
$$Q = 1,655 \cdot P \cdot y^{(3/2)} \text{ Equação (2)}$$

Onde:

Q é a vazão máxima captada (**m³/s**),

P é o perímetro da abertura da grelha (desconsiderando as barras internas e os lados onde a água não entra, em **m**), e

y é a altura da abertura da guia (**m**).



Fonte: Material de aula: Prof. Geraldo Magela Damasceno

- III. **Bocas de Lobo Combinadas:** A capacidade total de captação é obtida pela soma das vazões captadas pela abertura na guia e pela grelha, assumindo a operação simultânea dos dispositivos (SUDECAP, 2020)

2.5.3. Vazão de projeto

A determinação da vazão de projeto (Q) é essencial para o dimensionamento seguro dos sistemas de drenagem, garantindo que a rede consiga escoar a vazão máxima esperada sem causar inundações.

2.5.4. Método Racional

O **Método Racional** é o método mais amplamente utilizado para estimar as vazões máximas de escoamento em pequenas bacias urbanas, cujas áreas de drenagem variam tipicamente entre 0,05 e 0,5 km², caracterizadas por uma proporção significativa de área impermeável (FUNASA, 2016). O método é baseado no princípio fundamental de que a vazão máxima resultante de uma chuva de intensidade uniforme e constante ocorre quando a totalidade da área de contribuição da bacia começa a contribuir simultaneamente para o escoamento na seção de saída. A fórmula para o cálculo é dada pela Equação 3:

$$Q=0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

Q é a vazão máxima de escoamento superficial (**m³/s**);

C é o coeficiente de escoamento superficial (**adimensional**);

I é a intensidade máxima média de precipitação (**mm/h**); e

A é a área da bacia de drenagem (**ha**).

O **coeficiente de escoamento superficial (C)** é um parâmetro adimensional que reflete a fração da precipitação que escoar superficialmente. Seu valor depende do tipo de cobertura do solo e do uso da área, sendo crucial para a precisão do Método Racional. Varia de valores baixos (0,05 a 0,20) em áreas rurais ou arborizadas, a valores altos (0,70 a 0,95) em zonas centrais densamente construídas, com ruas e calçadas pavimentadas (TUCCI; PORTO; BARROS, 1994). O valor do coeficiente © está ilustrado na **Tabela 1**.

Tabela 1-Parametros de coeficiente de escoamento

Zonas	Valores de C
De edificação muito densa: partes centrais densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70 a 0,95
De edificação não muito densa: partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 a 0,70
De edificação com pouca superfície livre: partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.	0,50 a 0,60
De edificação com muitas superfícies livres: partes residenciais tipo cidade-jardim, ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 a 0,50
De subúrbios com alguma edificação: partes de arrabaldes com pequena densidade de construções.	0,10 a 0,25

Zonas	Valores de C
De matas, parques e campos de esporte: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques e campos de esporte sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: <https://www.scielo.br/j/esa/a/f53xJfyBz3bWr7hwsmqRBVJ/?lang=pt>

2.5.5. Intensidade Máxima de Precipitação

A Intensidade Máxima Média de Precipitação (I) refere-se à taxa máxima de chuva durante um evento, sendo crucial para o cálculo da vazão. O período de chuva analisado deve ter a mesma duração do Tempo de Concentração para que se considere uma intensidade constante ao longo da duração do escoamento (TUCCI; PORTO; BARROS, 1994). A intensidade é determinada a partir de relações empíricas entre Intensidade, Duração e Frequência (IDF), geralmente expressas pela Equação 4:

$$Im = K \cdot T^{(a)} / (t + b)^c \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

Im é a Intensidade máxima (mm/h),

T é o Período de Retorno (anos),

t é a duração da precipitação (min), e

K, **a**, **b** e **c** são parâmetros de ajuste obtidos por meio de análise estatística dos dados pluviométricos históricos da estação (RAUEN; TSCHOKE, 2017), respectivos da região ou município onde está sendo feito a análise de intensidade de chuva.

2.5.6. Período de Retorno

O **Período de Retorno (T)** é um critério de segurança que representa o intervalo médio de tempo em que um evento pluviométrico de determinada intensidade é igualado ou excedido. A escolha do T está intrinsecamente relacionada ao nível de segurança desejado para o projeto e ao custo da obra (MIGUEZ; VEROL; REZENDE, 2015). Para projetos de drenagem:

Para projetos de **microdrenagem**, o período de retorno recomendado é tipicamente entre 2 e 10 anos, variando conforme a ocupação da área (por exemplo, 2 a 5 anos para áreas residenciais e de serviços públicos, e 5 a 10 anos para aeroportos).

Para projetos de **macrodrenagem** (canais e galerias maiores), o período de retorno é estabelecido em valores maiores, geralmente entre 50 e 100 anos, ou até 500 anos para áreas de importância crítica (FUNASA, 2016).

2.5.7. Tempo de Concentração

O **Tempo de Concentração** (t_c) é o intervalo de tempo decorrido desde o início da precipitação até o momento em que a contribuição de toda a área da bacia atinge o ponto de interesse simultaneamente, resultando na vazão máxima (MIGUEZ; VEROL; REZENDE, 2015). Embora a determinação mais precisa se dê por dados observados, a fórmula de Kirpich é frequentemente utilizada em projetos (Equação 5), comumente limitando t_c a 10 minutos para sistemas de microdrenagem:

$$t_c = 57 * L^{(3)} / (H)^{(0,385)} \text{ Equação (5)}$$

t_c é o tempo de concentração (**min**),

L é o comprimento do curso d'água principal da bacia (**km**), e

H é a diferença de nível entre o ponto mais remoto e a seção considerada (**m**).

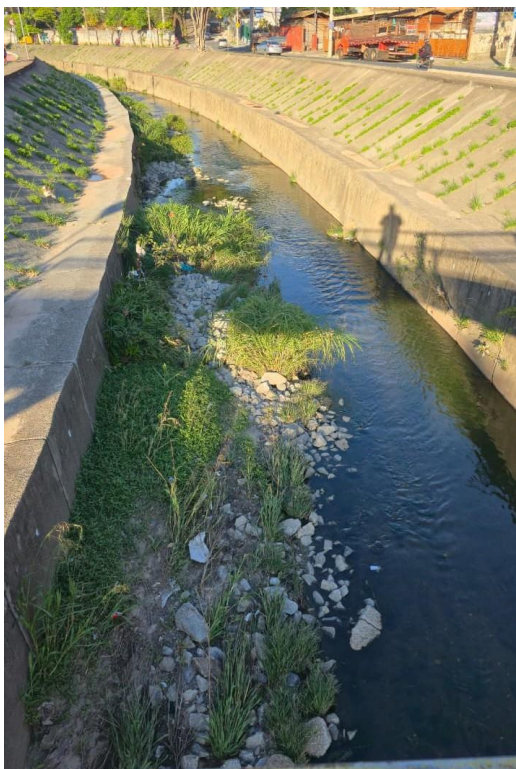
2.6. Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana

A problemática da drenagem urbana se agrava com a ineficácia da gestão dos resíduos sólidos. Os RSU, quando dispostos de forma inadequada ou não coletados pela limpeza urbana, são mobilizados pelo escoamento superficial durante eventos de chuva, sendo carregados diretamente para o sistema de drenagem.

A presença de resíduos sólidos no sistema pluvial gera impactos em duas frentes principais:

I. Impacto Hidráulico e Operacional: O acúmulo de detritos (especialmente materiais grosseiros como garrafas, plásticos, embalagens e matéria orgânica, como folhas) nas bocas de lobo e no interior das galerias resulta na redução da seção de escoamento. Isso diminui drasticamente a capacidade de vazão do sistema, provocando o retorno da água para a superfície e, conseqüentemente, alagamentos (NEVES; TUCCI, 2003). Além disso, a obstrução exige frequente manutenção corretiva, elevando os custos operacionais para os órgãos públicos (Figura 15).

Figura 15- Assorimento do correço Ressa, altura do bairro Castelo



Fonte: Autor

- II. Impacto Ambiental e na Qualidade da Água:** Os resíduos transportados pelo sistema de drenagem são vetores de poluentes, levando sedimentos finos, metais pesados, matéria orgânica e patógenos diretamente para os corpos hídricos receptores. Essa carga poluente degrada a qualidade da água, afeta a biodiversidade e compromete o uso recreacional e de abastecimento dos rios e reservatórios.

Estudos de quantificação de cargas de resíduos em drenagem urbana demonstram que a composição dos detritos é fortemente influenciada pelo uso e ocupação do solo da bacia de contribuição (NEVES, 2006). Em áreas residenciais com vegetação, a matéria orgânica (folhas e restos de jardim) é frequentemente a fração predominante, enquanto em áreas comerciais, plásticos e embalagens ganham destaque (ABRH, 2007).

O desafio, portanto, não se restringe apenas à velocidade com que a água escoar, mas também à qualidade dessa água e à garantia de que os dispositivos de microdrenagem permaneçam desobstruídos. É neste ponto que a utilização de dispositivos de controle na fonte, como as gaiolas coletoras, se torna uma solução estrutural eficiente e fundamental.

2.7. Estruturas de Retenção de Resíduos (Gaiolas Coletoras)

As **estruturas de retenção de resíduos** na fonte, frequentemente denominadas armadilhas de lixo, cestas coletoras ou Gross Pollutant Traps (**GPTs**), representam uma medida estrutural proativa no gerenciamento da drenagem urbana e da qualidade da água. Seu objetivo principal é interceptar os resíduos sólidos de maior granulometria (lixo e detritos grosseiros), carregados pelo escoamento superficial, antes que estes atinjam e obstruam as galerias de drenagem ou poluam os corpos hídricos receptores (SHAH et al., 2021).

2.7.1. Conceitos e Aplicações dos GPTs

Os GPTs são dispositivos de filtragem física que, quando instalados no interior das bocas de lobo, atuam como peneiras. Eles facilitam o escoamento contínuo da água, enquanto retêm o material sólido, minimizando o assoreamento das tubulações e o consequente risco de inundações localizadas (SARIMIN et al., 2020). Essa tecnologia é uma prática comum em todo o mundo, com sistemas sendo frequentemente instalados antes do ponto de descarga da água em rios ou reservatórios, visando prioritariamente a prevenção da poluição hídrica (SHAH et al., 2021).

O conceito de retenção de poluentes grosseiros (Gross Pollutant) é crucial, pois esses materiais não apenas causam obstrução física, mas são também vetores de poluição, sendo o plástico, a matéria orgânica (folhas e restos de vegetação) e o papel as frações mais representativas em massa e volume nos resíduos carregados (ABRH, 2007). A quantificação e a classificação desses resíduos são etapas indispensáveis para a avaliação da eficácia da estrutura e para o conhecimento das cargas poluentes que estariam sendo introduzidas na rede (NEVES, 2006).

A aplicação dessas armadilhas é considerada uma prática de baixo custo quando comparada aos gastos com manutenção corretiva de redes obstruídas ou aos prejuízos causados por alagamentos. A eficiência do dispositivo é largamente influenciada por fatores como:

- I. **Design e Malha:** A dimensão da malha da cesta deve ser adequada para reter o máximo de detritos sem comprometer significativamente a capacidade hidráulica de captação da boca de lobo em eventos de chuva intensa. Um projeto otimizado deve considerar a vazão máxima esperada para a microbacia, garantindo que o dispositivo não se torne um novo ponto de estrangulamento da vazão.

- II. **Manutenção:** A manutenção e a limpeza regulares da gaiola são cruciais. Se a cesta atingir sua capacidade máxima, ela própria pode se tornar um ponto de obstrução na microdrenagem superficial (SARIMIN et al., 2020). A facilidade de manuseio e a redução da necessidade de mão de obra especializada para a limpeza são vantagens operacionais que justificam sua adoção.
- III. **Localização:** A escolha do ponto de instalação deve priorizar áreas com alta geração de detritos, alta presença de folhas (matéria orgânica) e histórico de alagamentos por entupimento, como é o caso do estacionamento do CEFET-MG.

2.7.2. Vantagens Operacionais e Ambientais dos Dispositivos de Retenção

A adoção de gaiolas coletoras oferece vantagens que se alinham aos princípios da Drenagem Urbana Sustentável (DUS) e da gestão de infraestrutura:

- I. **Prevenção de Obstruções:** Redução significativa do acúmulo de lixo nas galerias subterrâneas, o que prolonga a vida útil da rede e garante a funcionalidade hidráulica (NEVES; TUCCI, 2003). A gaiola atua na prevenção do assoreamento, que é a acumulação de sedimentos e materiais no interior das tubulações, sendo um problema crônico em redes mais antigas.
- II. **Gestão de Qualidade:** Impedimento do transporte de detritos (que são vetores de poluentes) para os rios, contribuindo diretamente para a preservação ambiental e da qualidade da água, conforme preconiza a Política Nacional de Resíduos Sólidos (MMA, 2010).
- III. **Otimização da Manutenção:** A limpeza é transferida para a superfície, eliminando a necessidade de equipamentos pesados e especializados para desobstrução de galerias (TUCCI, 2004). Isso simplifica a gestão de resíduos urbanos, permitindo que a coleta dos detritos retidos seja integrada aos serviços de limpeza urbana.
- IV. **Replicabilidade:** Dada a simplicidade de concepção e o baixo custo relativo de materiais, a solução é altamente replicável em diversos modelos de boca de lobo em diferentes pontos da malha urbana.

3. METODOLOGIA:

O presente capítulo detalhou-se os procedimentos, a abordagem e as ferramentas empregadas para a execução da pesquisa, visando cumprir os objetivos estabelecidos e validar as premissas propostas. A pesquisa se caracterizou como um Estudo de Caso aplicado, combinando métodos qualitativos e quantitativos para a análise de desempenho do dispositivo de retenção em condições reais de campo.

3.1. Local de Estudo

O estudo foi conduzido no Campus Nova Suíça do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), localizado em Belo Horizonte, MG, latitude: 19°55.815' S e longitude: 43°58.699' O. O foco da análise será duas bocas de lobo específicas situadas no estacionamento da instituição. Os locais foram escolhidos estrategicamente por representar um cenário urbano controlado, mas com desafios típicos de microdrenagem urbana: alta impermeabilização do solo, intensa circulação de veículos e pedestres e significativa contribuição de material orgânico devido à presença de arborização.

Figura 16- Vista aérea do CEFET-MG, campus Nova Suíça.



Autor: Andre Teixeira (2025)

O primeiro bueiro selecionado para o estudo localiza-se na via central do estacionamento. Esta área caracteriza-se pelo intenso fluxo de veículos e pedestres e, devido à sua maior largura, concentra um volume mais expressivo de escoamento superficial. Tais condições potencializam o carreamento de detritos, tornando o local estratégico para a instalação do dispositivo. A **Figura 17** ilustra a gaiola coletora devidamente instalada neste ponto de captação

Figura 17- Local de implantação bueiro 1

Fonte: Autor

O segundo dispositivo de retenção foi instalado em uma boca de lobo adjacente a uma área vegetada, composta por árvores e arbustos. A seleção deste ponto específico foi motivada não apenas pela forte influência da biomassa circundante, mas também pelas características físicas da própria estrutura de captação: a grelha de proteção apresenta um espaçamento maior entre suas barras. Essa configuração facilita a passagem de detritos mais volumosos, aumentando significativamente a taxa de entrada e a retenção de material na gaiola (Figura 17).

Figura 18- Local de implantação bueiro 2

Fonte: Autor

Para consolidar a caracterização do local de estudo e proporcionar uma melhor compreensão espacial da infraestrutura monitorada, a disposição estratégica dos bueiros selecionados ao longo do estacionamento encontra-se detalhada na **Figura 19**

Figura 19- Mapa de localização e disposição espacial dos bueiros monitorados no parque de estacionamento do Campus Nova Suíça



Fonte: Autor

3.2. Coleta e Análise de Dados

Na etapa de coleta e análise de dados, os resíduos foram sistematicamente recolhidos das estruturas de microdrenagem e separados em três grupos amostrais distintos: material retido na Gaiola 1, material retido na Gaiola 2 e o material passante (resíduos que transpassaram a malha das gaiolas e se depositaram no fundo das caixas de captação).

Para a quantificação gravimétrica (massa) dos resíduos, utilizou-se uma balança de precisão digital — com capacidade máxima de 2010 g e precisão de 0,01 g — juntamente com um recipiente metálico padronizado como suporte. O rigor metodológico da pesagem exigiu que o recipiente, cujo peso inicial aferido foi de 256,30 g, fosse tarado a cada nova medição. Esse procedimento contínuo de aferir a tara e zerar a balança garantiu que não houvesse qualquer aumento de peso indevido nas amostras, seja por acúmulo de umidade ou por partículas finas residuais aderidas ao fundo do recipiente em pesagens anteriores, assegurando assim a obtenção da massa líquida exata de cada coleta. As etapas de preparação, detalhamento do equipamento e pesagem do material estão demonstradas nas **Figura 20**, **Figura 21** e **Figura 22**.

Figura 20- Base e balança de precisão



Fonte: Autor

Figura 21- Peso da base x tara da base



Fonte: Autor

Figura 22- Pesagem do material coletado



Fonte: Autor

3.2.1. Período e Frequência de Coleta

A implantação das estruturas de retenção ocorreu de forma escalonada no local de estudo. A Gaiola 1, por ter sido confeccionada primeiro, foi instalada na segunda quinzena do mês de dezembro, resultando em um período total de análise que se estendeu de dezembro a março. Por sua vez, a Gaiola 2 foi instalada na primeira semana de janeiro, com seu respectivo período de monitoramento compreendido entre os meses de janeiro e abril. No que diz respeito à frequência, as inspeções visuais para verificação do funcionamento das gaiolas ocorreram semanalmente. Contudo, a remoção e coleta efetiva dos resíduos não seguiu uma periodicidade fixa, sendo realizada de forma condicional, ou seja, apenas quando as vistorias semanais confirmavam a existência de volume de material acumulado suficiente para justificar a extração

O cronograma efetivo das coletas realizadas em campo encontra-se sistematizado nas **Tabela 2**, **Tabela 3** e **Tabela 4**. Observa-se que a frequência de remoção foi ditada pelas condições específicas de acúmulo em cada local. Enquanto a Gaiola 1 dispensou coletas durante os meses de fevereiro e março devido ao baixo volume retido, a Gaiola 2 exigiu intervenções contínuas, refletindo a alta carga de detritos direcionada àquela estrutura

Tabela 2 – Dias de coleta Gaiola 1

Gaiola 1					
Dia coletado	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
	28	31	-	-	-

Fonte: Autor.

Tabela 3 – Dias de coleta Gaiola 2

Gaiola 2					
Dia coletado	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
	-	14	19	-	18
	-	21		-	-
	-	31	-	-	-

Fonte: Autor

Tabela 4 – Dias de coleta Material de fundo

Material de fundo					
Dias coletados	Dezembro	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril
	-	31	19	-	18
	-		26	-	-

Fonte: Autor

3.2.2. Quantificação e Caracterização dos Resíduos

Esta fase da pesquisa foi realizada em 3 etapas distintas:

1. **Quantificação Volumétrica:** A massa dos resíduos interceptados foi aferida individualmente a cada coleta, registrando-se separadamente os valores para a Gaiola 1, para a Gaiola 2 e para o material que transpassou as estruturas.

2. **Caracterização Qualitativa:** Todo o material recolhido foi triado e classificado por tipologia (matéria orgânica, plásticos, papel, entre outros). Essa etapa evidenciou as frações predominantes retidas nos dispositivos, possibilitando correlacionar a carga de lixo com a presença de vegetação e a dinâmica de uso do estacionamento do campus.

3. **Análise de Eficácia:** A eficiência do sistema foi comprovada de forma prática mediante a inspeção visual do material passante (indicando o que deixou de entrar na tubulação) e pela observação direta do escoamento, que confirmou a capacidade de captação de água das caixas mesmo durante precipitações.

4. NFRAESTRUTURA E RECURSOS NECESSARIOS

A implantação do dispositivo de retenção na boca de lobo selecionada exigiu a mobilização de recursos materiais e humanos específicos. É importante destacar que os materiais para a fabricação das gaiolas (cantoneiras de alumínio e tela de aço galvanizado) foram adquiridos externamente ao CEFET-MG e custeados integralmente por recursos próprios do pesquisador/orientador.

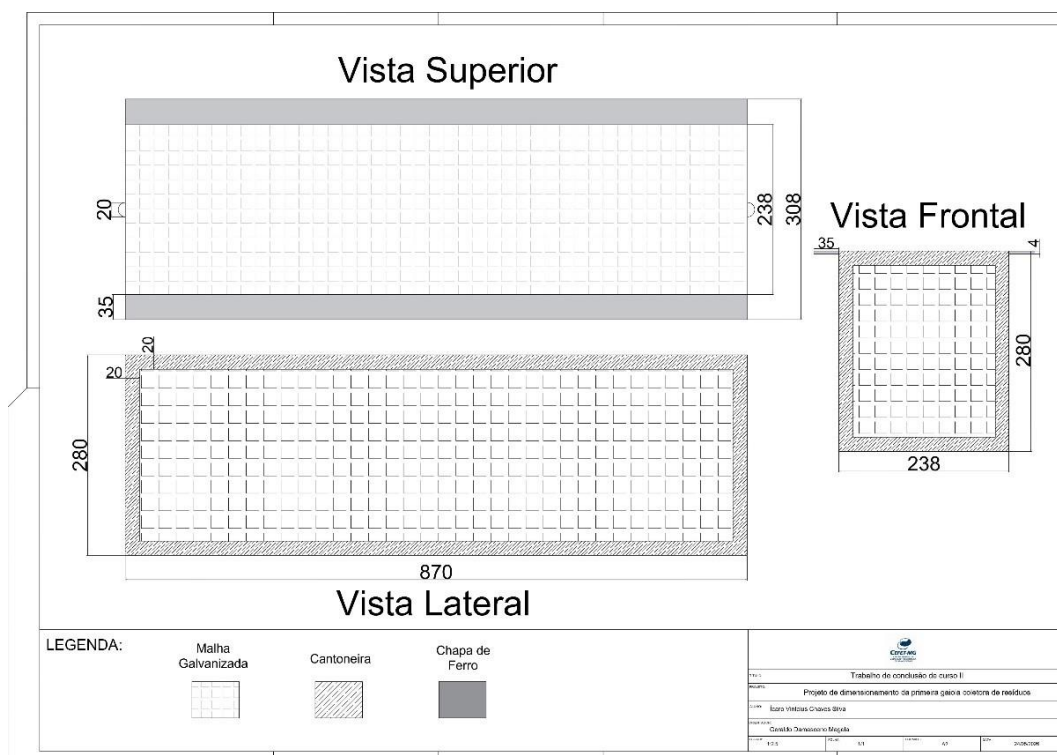
O investimento total para a confecção das duas unidades totalizou R\$ 440,00. Este montante compreende a aquisição de 3 m² de tela de aço galvanizado, adquirida ao valor de R\$ 80,00 por metro quadrado (perfazendo R\$ 240,00), somada ao custo de fabricação de R\$ 100,00 por unidade. O serviço de serralheria e soldagem e pintura foi executado pelo profissional: Sr. Hernany Santos. Os dispositivos foram produzidos seguindo rigorosamente as dimensões e especificações detalhadas na Seção 3.2, priorizando a durabilidade e a resistência à corrosão como fatores fundamentais na seleção dos componentes utilizados, conforme descrito no item 4.1.

4.1. Projeto executivo e de Implantação das Gaiolas Coletoras

Os dispositivos de retenção foram projetados e executados para se adequarem rigorosamente às dimensões das bocas de lobo selecionadas, assegurando a máxima eficiência na interceptação de resíduos sem prejuízo à capacidade hidráulica do sistema. Cabe salientar que, embora ambas as estruturas de captação não sejam consideradas de grande porte, apresentam dimensões distintas entre si: a Gaiola 1 foi dimensionada para o bueiro de maior escala, situado na via central do estacionamento, enquanto a Gaiola 2 foi adaptada a uma estrutura de menor porte e concebida para ser posicionada ao fundo do bueiro. Essa configuração de instalação mais profunda na segunda unidade foi uma escolha técnica intencional, com o objetivo de analisar se a presença do dispositivo no fundo comprometeria a capacidade de escoamento e o fluxo hídrico da estrutura original.

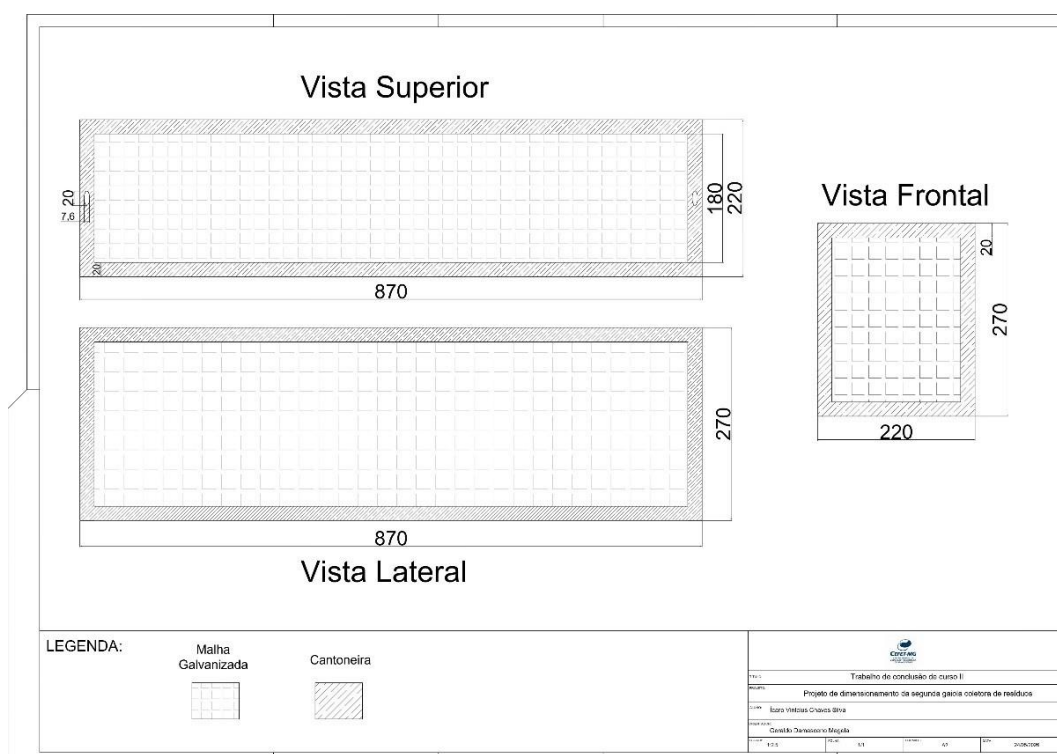
Essas variações geométricas e operacionais demandaram ajustes específicos no processo de fabricação de cada protótipo para garantir o encaixe perfeito. As representações em escala (versão CAD) desses projetos estão ilustradas nas Figuras 21 e 22, correspondentes à gaiola 1 e gaiola 2, respectivamente, e os detalhes técnicos de confecção e montagem encontram-se descritos na Seção 4.2

Figura 21- Projeto de dimensionamento da coletora de resíduos: gaiola 1



Fonte: Autor

Figura 22- Projeto de dimensionamento da coletora de resíduos: gaiola 2



Fonte: Autor

4.2. Especificações Geométricas Gaiola 1

As dimensões da boca de lobo tipo grelha selecionada para a instalação do dispositivo-piloto foram rigorosamente medidas:

- **Boca de Lobo Tipo Grelha (Dimensões Internas):** 890 mm (Comprimento) x 240 mm (Largura) x 300 mm (Profundidade/Altura).

Com base nestas medições, a gaiola coletora foi projetada com dimensões ligeiramente menores para garantir o encaixe e a remoção facilitada durante as operações de manutenção:

- **Gaiola Coletora (Dimensões Externas):** 870 mm (Comprimento) x 238 mm (Largura) x 280 mm (Altura).

- **Malha:** 10 mm x 10 mm (largura x altura do vão).

4.2.1. Especificações Geométricas Gaiola 2

As dimensões da boca de lobo tipo grelha selecionada para a instalação do dispositivo-piloto foram rigorosamente medidas:

- **Boca de Lobo Tipo Grelha (Dimensões Internas):** 890 mm (Comprimento) x 240 mm (Largura) x 300 mm (Profundidade/Altura).

Com base nestas medições, a gaiola coletora foi projetada com dimensões ligeiramente menores para garantir o encaixe e a remoção facilitada durante as operações de manutenção:

- **Gaiola Coletora (Dimensões Externas):** 870 mm (Comprimento) x 220 mm (Largura) x 270 mm (Altura).

- **Malha:** 10 mm x 10 mm (largura x altura do vão).

Salientamos aqui que as escolhas de dimensões de projetos tanto da gaiola 1 como a gaiola 2, foram definidas por observações in loco na área de teste, e pelas variações construtivas, construtivas, de execução das grelhas de água pluviais do estacionamento do Campus Nova Suíça. Foi verificado no projeto que essas grelhas não apresentavam regularidade em suas dimensões, tanto verticais, como horizontais. Isso justifica as diferentes medidas da gaiola 1 e 2.

4.3. Especificações de Material

As gaiolas foram fabricadas utilizando alumino nas cantoneiras e aço galvanizado na malha, para conferir durabilidade e resistência à corrosão em um ambiente exposto à umidade. A principal característica de filtragem é fornecida pela malha:

- **Material das gaiolas:** Cantoneiras de ferro $\frac{3}{4}$ "x $\frac{1}{8}$ " (19,05 mm x 3,175 mm).
- **Material das Malhas:** Tela soldada de aço galvanizado BWG 18, espessura 1,24 mm e malha de 10 mm por 10 mm.

Esta malha de 10 mm foi escolhida para assegurar a retenção eficaz de detritos grosseiros (Gross Pollutants) e matéria orgânica, enquanto permite a passagem de partículas finas e sedimentos que, por sua baixa granulometria, não representam risco imediato de entupimento nas tubulações a jusante.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A implementação dos protótipos de gaiolas coletoras no pátio do estacionamento principal do Campus Nova Suíça do CEFET-MG e o subsequente monitoramento sistemático permitiram a obtenção de resultados tangíveis e mensuráveis. Os dados coletados em campo demonstraram, na prática, a viabilidade técnica e a eficácia dessa solução construtiva no contexto da microdrenagem urbana (drenagem pluvial da área de estacionamento).

Conforme os objetivos da pesquisa, o estudo validou a gaiola coletora como uma medida mitigadora de baixo custo e alta eficiência para a gestão de resíduos sólidos. Pois o valor de confecção das duas unidades totalizou R\$ 440,00, praticamente R\$220,00 por unidade, sendo que uma obra de manutenção da rede pluvial, causada pela obstrução ou entupimento definitivo da rede poderia atingir pelo menos cem (100) vezes este valor.

O monitoramento contínuo das gaiolas comprovou a capacidade dos dispositivos em reter o material particulado levado pelo escoamento superficial da água de chuva no pátio de estacionamento, interceptando esse material antes de seu ingresso nas galerias, protegendo o sistema de drenagem e fornecendo dados concretos para a otimização da gestão de infraestrutura do campus. Cabe ressaltar que a análise dos dados revelou uma forte influência das características físicas pré-existentes de cada grelha pluvial, como a dimensão das aberturas das grelhas superiores, na taxa final de retenção de cada dispositivo.

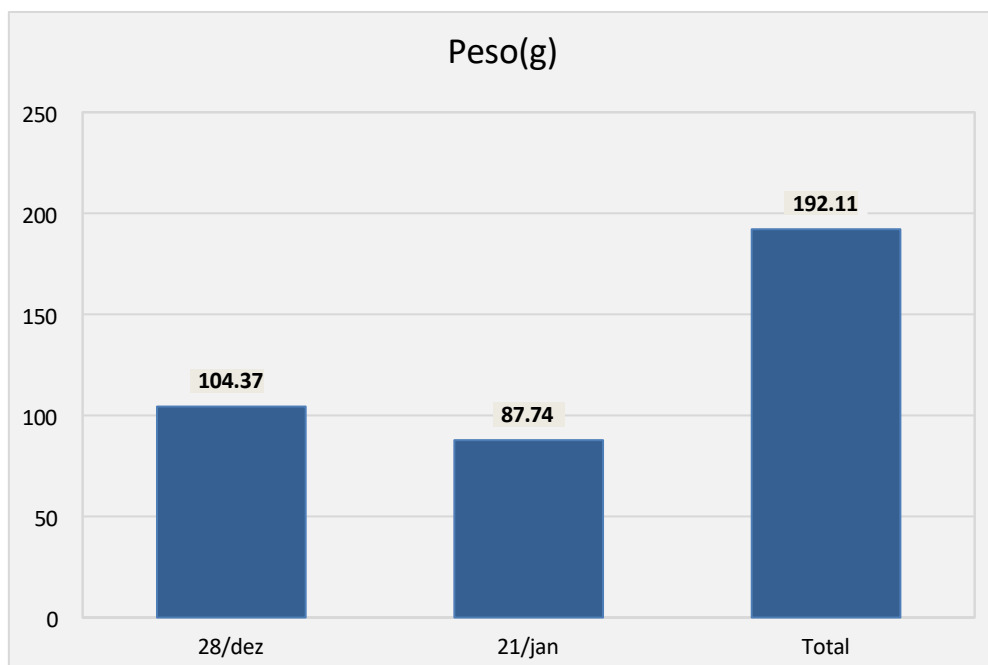
A seguir, são apresentados detalhadamente os resultados obtidos, divididos entre a quantificação gravimétrica das amostras e a caracterização visual qualitativa dos detritos coletados nas Gaiolas 1 e 2, bem como do material passante depositado no fundo das estruturas de captação (material mais fino que não foi retido pela malha das gaiolas 1 e 2). Que também foi coletado e analisado suas características e componentes.

5.1. Análise Gravimétrica do material interceptado pela Gaiola 1

A avaliação gravimétrica da Gaiola 1, instalada na via central do estacionamento, apontou uma dinâmica de acúmulo de massa descontínua e concentrada no início do período de monitoramento. Os registros numéricos obtidos através das pesagens na balança de precisão revelaram que o dispositivo apresentou valores mensuráveis apenas nas coletas realizadas nos dias 28 de dezembro/2025 e 31 de janeiro/2026, registrando massas líquidas de 104,37 g e 87,74 g, respectivamente. Isso resultou em um acúmulo total

de 192,11 g para esta estrutura, conforme ilustrado no Gráfico 1. Aqui já começamos a perceber que a gaiola 1, no local de seu estudo, não obteve inicialmente um sucesso na coleta de resíduo pois a grelha acima da gaiola (grelha que já existia no sistema de drenagem) não permitia a passagem de muitos resíduos.

Gráfico 1: Massa (em gramas) de resíduo interceptado pela gaiola 1 nos dias: 28/12/2025 e 21/01/2026



Fonte:Autor

Nos meses subsequentes (fevereiro e março), o volume de detritos interceptado foi residual e insuficiente para registrar massa significativa na balança. As Figura 23 e 23 demonstram os registros fotográficos das pesagens referentes a essas duas coletas (dias 28 de dezembro/2025 e 31 de janeiro/2026), evidenciando as massas obtidas.

Figura 23- Medição gravimétrica do material interceptado pela Gaiola 1 no dia 28 de dezembro.



Fonte:Autor

Figura 24- Medição gravimétrica do material interceptado pela Gaiola 1 no dia 31 de janeiro



Fonte:Autor

Como já mencionado, o comportamento quantitativo inferior (Gráfico 1 e Figuras 22 e 23), quando comparado à segunda unidade experimental, é explicado diretamente pela configuração estrutural da caixa de captação selecionada, que se trata de uma galeria pluvial. A grelha superior original existente sobre esta galeria, apresentada na Figura 25,

possui vãos e aberturas de dimensões significativamente reduzidas. Dessa forma, a própria estrutura de superfície funcionou como um filtro primário, impedindo o ingresso de resíduos volumosos para o interior da galeria. Esse estrangulamento inicial na entrada limitou a carga sólida que efetivamente alcançou a malha da Gaiola 1, justificando a baixa magnitude de massa acumulada ao longo do trimestre de análise.

Contudo, é fundamental destacar que a restrição imposta pela grelha não elimina os resíduos do ambiente urbano; eles apenas deixam de ser canalizados por essa estrutura específica. O material bloqueado na superfície continua sendo carreado pelo escoamento superficial ao do estacionamento até avenida Amazonas, sendo direcionado para outras bocas de lobo situadas a jusante. Essa dinâmica de escoamento não resolve o problema, mas sim transfere a carga poluidora, sobrecarregando outros pontos da rede e contribuindo diretamente para o comprometimento crônico do sistema de micro drenagem e, conseqüentemente, para o aumento do risco de alagamentos e enchentes no entorno.

Figura 25- Grelha superior da galeria pluvial (Gaiola 1), responsável pela retenção primária na superfície.



Fonte: Autor

5.2. Análise Qualitativa do material interceptado pela Gaiola 1

A caracterização qualitativa do material interceptado pela Gaiola 1 foi realizada por meio de triagem manual e classificação visual dos constituintes das amostras coletadas. A metodologia de separação adotada permitiu isolar as diferentes tipologias de resíduos para identificar as frações predominantes nas duas coletas efetivas, conforme ilustrado nas **Figura 26 e Figura 27**, que registram o material obtido nos dias 28 de dezembro/2025 e 31 de janeiro/2026, respectivamente.

Figura 26- Triagem manual e caracterização qualitativa da amostra de 28 de dezembro/2025 (Gaiola 1)



Fonte:Autor

Figura 27- Triagem manual e caracterização qualitativa da amostra de 31 de janeiro/2026 (Gaiola 1))



Fonte:Autor

Corroborando a análise quantitativa discutida na seção anterior, a observação visual das amostras confirma que o material retido no interior da gaiola apresenta uma granulometria predominantemente fina. Esse resultado é totalmente coerente com a restrição física imposta pela grelha superior da galeria pluvial, que filtrou os resíduos sólidos volumosos na superfície e permitiu apenas a passagem de partículas de menores dimensões.

Ao analisar a disposição dos resíduos na superfície de triagem em ambas as datas, nota-se uma predominância absoluta de matéria orgânica degradada e material terroso,

composto por poeira residual, fragmentos diminutos de folhas e pequenos galhos carreados pelo escoamento superficial.

Em contrapartida, observa-se uma presença reduzida, porém existente, de resíduos sólidos antropogênicos (como fragmentos de embalagens plásticas e papéis), que transpassaram os vãos da grelha superior. Esse panorama qualitativo demonstra que, embora a grelha tenha barrado a maior parte da carga poluidora grosseira na superfície, a malha da gaiola coletora foi eficaz em interceptar e reter esses resíduos de granulometria mais fina, evitando que seguissem pelo sistema de drenagem.

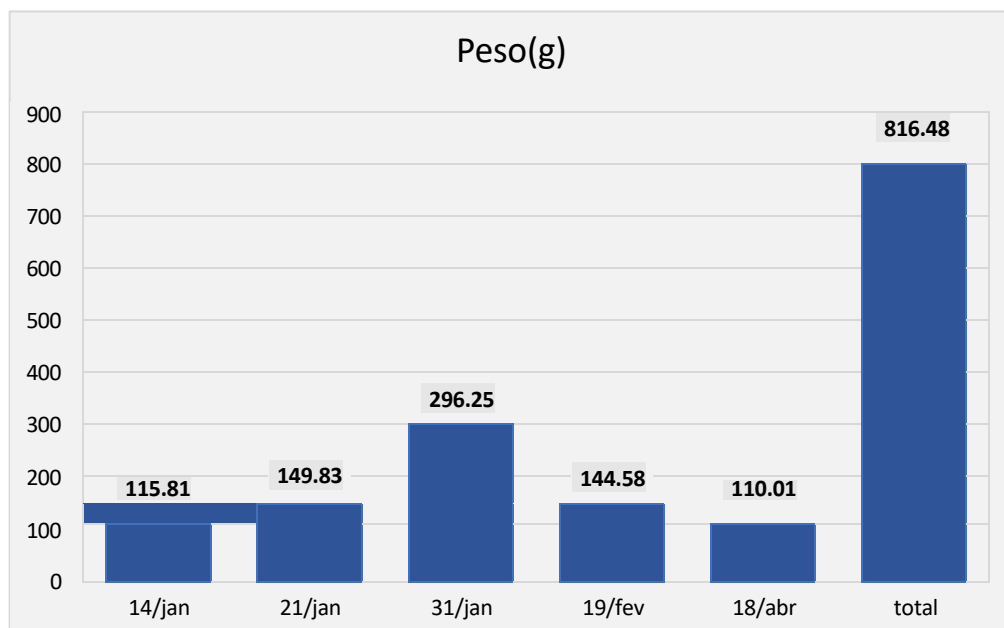
5.3. Análise Gravimétrica do material interceptado pela Gaiola 2

A avaliação gravimétrica do material interceptado pela Gaiola 2 demonstrou um comportamento quantitativo significativamente superior e mais regular ao longo do período de monitoramento, quando comparado à primeira unidade experimental. Os registros numéricos obtidos por meio das pesagens revelaram um fluxo contínuo de acúmulo de massa, com coletas efetivas distribuídas ao longo de quatro meses.

Conforme ilustrado no Gráfico 2, os valores líquidos obtidos foram de 115,81 g (14/jan/2026), 149,83 g (21/jan/2026), 296,25 g (31/jan/2026), 144,58 g (19/fev/2026) e 110,01 g (18/abr/2026). O somatório dessas intervenções, no Gráfico 2, resultou em uma massa total acumulada de 816,48 g de resíduos retidos diretamente pela malha do dispositivo, um volume quase cinco vezes maior do que o interceptado na Gaiola 1, como podemos observar no Gráfico 1 que foi de 192,11 g.

Estas datas tão espaçadas aqui no estudo não atrapalham as análises quantitativas, pois estamos analisando aqui as quantidades acumuladas de resíduos interceptados pelas gaiolas. Uma das dificuldades foi a quantidade de dias em que ocorreram intensidade chuvas que efetivamente contribuíram para gerar material residual nas gaiolas em quantidade de serem medidas ou observadas.

Gráfico 2: Massa (em gramas) de resíduo interceptado pela gaiola 2 nos dias: 14/01/2026, 21/01/2026, 31/01/2026, 19/02/2026 e 18/04/2026



Fonte:Autor.

Os registros fotográficos sequenciais de todas as pesagens laboratoriais realizadas estão apresentados nas Figuras: 27, 28, 29, 30 e 31, cronologicamente ordenados conforme as datas de coleta, respectivamente.

Figura 28- Medição gravimétrica de 14/Jan coletada na Gaiola 2.



Fonte:Autor

Figura 29- Medição gravimétrica de 21/Jan coletada na Gaiola 2.



Fonte:Autor

Figura 30- Medição gravimétrica de 31/Jan coletada na Gaiola 2.



Fonte:Autor

Figura 31- Medição gravimétrica de 19/fev coletada na Gaiola 2



Fonte:Autor

Figura 32- Medição gravimétrica de 18/abr coletada na Gaiola 2



Fonte:Autor

Esse comportamento quantitativo superior é explicado de forma direta pela configuração estrutural e pela localização do bueiro selecionado. Ao contrário da galeria central, a grelha superior que cobre a Gaiola 2, apresentada na **Figura 33**, é constituída por barras de ferro com vãos e aberturas de dimensões substancialmente maiores.

Figura 33- Grelha superior do bueiro (Gaiola 2),



Fonte:Autor

Dessa forma, a própria estrutura de superfície funcionou de maneira muito menos restritiva, permitindo que a água do escoamento superficial carregasse livremente resíduos sólidos volumosos e carga poluidora grosseira para o interior da caixa de captação. Além disso, a justaposição dessa estrutura com a área de vegetação densa ao entorno potencializou a carga de biomassa direcionada aos vãos maiores da grelha. Consequentemente, a malha da Gaiola 2 atuou como a principal barreira física do sistema, justificando a alta magnitude de massa acumulada e comprovando sua eficiência na interceptação contínua do material que, de outra forma, causaria o assoreamento direto da tubulação.

5.4. Análise Qualitativa da Gaiola 2

A caracterização qualitativa dos detritos retidos pela Gaiola 2 foi realizada por meio de triagem manual e separação criteriosa das frações constituintes das amostras coletadas. Para demonstrar a constância do perfil dos resíduos ao longo do período de monitoramento, as **Figura 34 a Figura 38** ilustram o material triado nas diferentes datas de intervenção (14/jan, 21/jan, 31/jan, 19/fev e 18/abr).

Figura 34- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas na Gaiola 2 (14/01)



Fonte:Autor

Figura 35- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas na Gaiola 2 (21/01)



Fonte:Autor

Figura 36- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas na Gaiola 2 (31/01)



Fonte:Autor

Figura 37- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas na Gaiola 2 (19/02)



Fonte:Autor

Figura 38- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas na Gaiola 2 (18/04)



Fonte: Autor

A análise visual das amostras revela um perfil granulométrico e composicional drasticamente diferente do observado na Gaiola 1. Em decorrência do posicionamento estratégico do bueiro, situado adjacente a áreas com densa cobertura vegetal, nota-se uma forte e constante predominância de biomassa de maior porte. O material retido é constituído expressivamente por folhas inteiras, galhos de variadas espessuras e sementes grandes, configurando a fração mais volumosa da carga sólida.

Além da biomassa, as imagens evidenciam a presença recorrente de resíduos sólidos antropogênicos, tais como fragmentos de copos descartáveis, embalagens plásticas e guimbas de cigarro. A ocorrência desses materiais confirma que a grelha superior de vãos amplos não oferece resistência à passagem de lixo urbano gerado pelo fluxo de pedestres no estacionamento. Contudo, a malha de 10 mm da Gaiola 2 cumpriu seu papel com excelência, interceptando com sucesso esses resíduos volumosos e impedindo seu ingresso na rede de galerias.

Convém registrar que, embora a Gaiola 2 tenha demonstrado uma elevada capacidade de interceptação dessa carga poluidora grosseira, o dispositivo possui uma limitação física inata associada à abertura de sua malha (10x10 mm). Devido a essa configuração construtiva, os resíduos terrosos e orgânicos com granulometria fina (inferior a essas dimensões) transpassaram a tela de aço e se depositaram diretamente no fundo da caixa de captação. A ocorrência contínua desse fenômeno evidenciou a necessidade de realizar uma investigação complementar focada estritamente nessa fração passante. Desse modo, para mapear o espectro completo de detritos que adentram o sistema, a seções

subsequente apresentará a análise quantitativa e qualitativa do material de fundo, adotando o mesmo padrão de rigor metodológico aplicado às gaiolas.

5.5. Análise Quantitativa e Qualitativa do Material de Fundo

A investigação do material de fundo — correspondente aos resíduos que transpassaram a malha de 10x10 mm e se depositaram na base da estrutura de captação — foi realizada de maneira exclusiva no bueiro associado à Gaiola 2. Essa delimitação metodológica foi necessária em decorrência do comportamento técnico observado na Gaiola 1. Como a grelha restritiva da galeria pluvial impediu o ingresso volumoso de detritos na maior parte do período monitorado, o acúmulo de material passante naquele primeiro ponto foi residual e insuficiente para amostragem, inviabilizando uma avaliação gravimétrica estável.

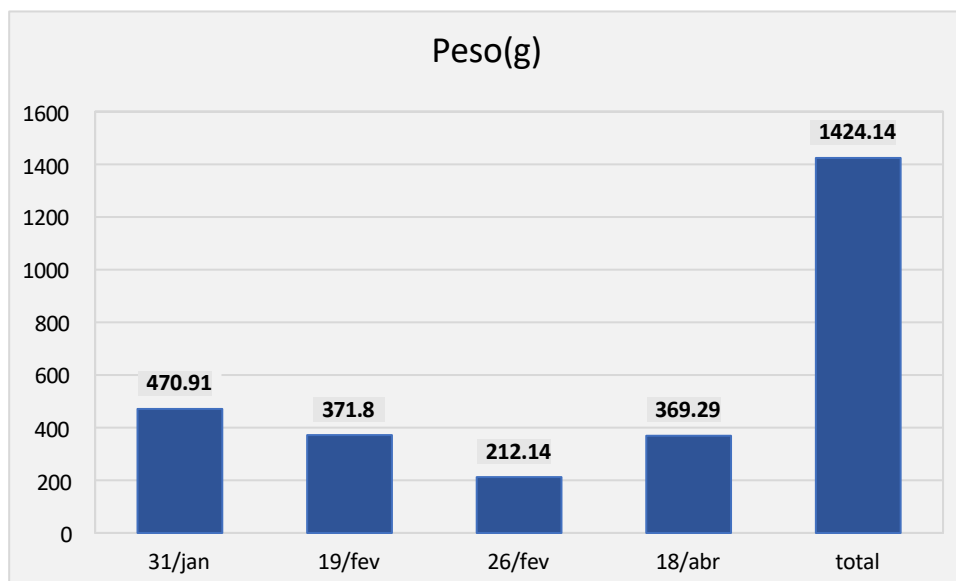
Dessa forma, o monitoramento detalhado nesta seção concentra-se integralmente no bueiro da Gaiola 2, onde a ampla abertura da grelha superficial permitiu o fluxo contínuo tanto de poluentes grosseiros quanto da fração passante mais fina ao longo de todo o período de análise.

5.5.1. Avaliação Gravimétrica do Material de Fundo

A avaliação gravimétrica do material depositado no fundo da caixa de captação ocorreu em sincronia com as vistorias da estrutura principal, registrando-se extrações quantificáveis nos dias 31 de janeiro, 19 e 26 de fevereiro, e 18 de abril. Os registros numéricos obtidos na balança de precisão revelaram um acúmulo contínuo e substancial de massa.

Conforme ilustrado no Gráfico 3, os valores líquidos aferidos em cada extração foram de 470,91 g (31/jan), 371,80 g (19/fev), 212,14 g (26/fev) e 369,29 g (18/abr). O somatório destas intervenções resultou numa expressiva massa líquida total de 1424,14 g de material passante acumulado ao longo do período de monitorização. Os registros fotográficos laboratoriais que comprovam as pesagens individualizadas deste material de fundo estão apresentados nas **Figura 39 a Figura 42**

Gráfico 3: Evolução temporal da massa do material de fundo (passante da Gaiola 2).



Fonte:Autor

Figura 39- Registro gravimétrico das amostras de material depositado no fundo do bueiro(31/01).



Fonte:Autor

Figura 40- Registo gravimétrico das amostras de material depositado no fundo do bueiro(19/02)



Fonte:Autor

Figura 41- Registo gravimétrico das amostras de material depositado no fundo do bueiro(26/02)



Fonte:Autor

Figura 42- Registo gravimétrico das amostras de material depositado no fundo do bueiro(18/04)



Fonte: Autor

É de extrema relevância analítica constatar que a massa total do material passante (1424,14 g) superou a massa do material retido pela malha da Gaiola 2 (960,05 g). Este comportamento justifica-se pela elevada densidade específica dos constituintes da fração passante — predominantemente sedimentos terrosos, areia e matéria orgânica triturada saturada —, em contraste com a carga retida na gaiola, que, apesar de mais volumosa, é essencialmente composta por folhas e gravetos de baixo peso específico. Este dado reforça a importância da manutenção periódica não apenas da cesta de retenção superficial, mas também da remoção do lodo e dos sedimentos decantados no fundo da caixa, prevenindo a colmatagem a longo prazo.

5.5.2. Caracterização Qualitativa do Material de Fundo

A caracterização qualitativa do material de fundo foi realizada através da triagem manual e análise visual das frações constituintes das coletas amostradas. A metodologia de separação permitiu identificar o perfil granulométrico homogêneo do material que transpassou a malha da gaiola coletora. As **Figura 43** a **Figura 46** apresentam uma compilação visual do material obtido e triado nas quatro principais datas de amostragem

Figura 43- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas fundo do bueiro(31/01).



Fonte:Autor

Figura 44- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas fundo do bueiro(19/02



Fonte:Autor

Figura 45- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas fundo do bueiro(26/02)



Fonte:Autor

Figura 46- Triagem manual e caracterização visual qualitativa das amostras retidas fundo do bueiro(18/04)



Fonte:Autor

observação direta das amostras documentadas nas imagens revela uma composição marcadamente distinta daquela retida na parte interna da Gaiola 2. Enquanto a gaiola barrou galhos e folhas de grande porte, o material que alcançou o fundo do bueiro revelou-se composto majoritariamente por sedimento terroso denso e lodo urbano (areia, terra e poeira). Misturado a essa matriz mineral, nota-se uma elevada presença de fragmentos orgânicos altamente triturados e micropartículas vegetais em avançado estado de decomposição.

A triagem qualitativa comprovou a eficácia da malha de 10x10 mm em barrar a carga poluidora grosseira, uma vez que a presença de resíduos antropogênicos volumosos (como plásticos ou papéis) foi praticamente nula nessas amostras de fundo. Em suma, as imagens demonstram que o material passante é composto exclusivamente por partículas que possuem diâmetro inferior ao espaçamento da tela do protótipo. Este dado, somado à elevada densidade específica constatada na análise gravimétrica anterior, reforça que esses sedimentos finos e o lodo são os principais agentes do assoreamento crônico da tubulação subterrânea naquele ponto, exigindo uma manutenção regular do fundo da caixa de captação.

5.5.3. Análise Comparativa do Desempenho dos Dispositivos

O contraste entre os resultados obtidos na Gaiola 1 e na Gaiola 2 evidencia que a eficiência de um sistema de retenção na fonte não depende exclusivamente do design mecânico ou do dimensionamento volumétrico dos protótipos, mas é severamente condicionada por fatores externos dominantes: a configuração da estrutura de interface superficial (grelha) e as características de uso e ocupação do entorno imediato.

Do ponto de vista geométrico e estrutural, ambos os dispositivos apresentaram dimensões de projeto muito próximas, adaptadas sob medida para a microgeometria das suas respectivas caixas de captação. A Gaiola 1 foi confeccionada com dimensões externas de 870 mm de comprimento, 238 mm de largura e 280 mm de altura. Por sua vez, a Gaiola 2 apresentou dimensões externas de 870 mm de comprimento, 220 mm de largura e 270 mm de altura. Esta ligeira variação dimensional decorreu estritamente do ajuste aos perfis internos das estruturas de alvenaria em campo, garantindo que ambas as estruturas detivessem capacidades de retenção e de vazão volumétrica.

Contudo, quantitativamente, a disparidade observada na retenção de massa não guardou relação com o volume útil semelhante das gaiolas. A assimetria de desempenho fica evidente ao confrontarmos o acúmulo de sólidos das duas estruturas ao longo do período experimental, conforme os dados sistematizados nas **Tabela 5** e **Tabela 6**. Enquanto a Gaiola 1 acumulou um total de apenas 192,11 g de resíduos, a Gaiola 2 interceptou 960,05 g, apresentando uma taxa de retenção acumulada quase cinco vezes superior.

Tabela 5-Panorama da coleta da gaiola 1

Gaiola 1	data	massa interceptada (g)	tempo coleta (dias)	area (m ²)	massa interceptada/dia/area (g/(dia*m ²))
início coleta	16/12/2025	0	0	0,20706	0
primeira coleta	28/12/2025	104,37	12	0,20706	42,005
segunda coleta	21/01/2026	87,74	24	0,20706	17,656
	total =	192,11	36		59,661
				media =	29,830
				media para todo o período =	25,772

Tabela 6-Panorama da coleta da gaiola 2

Gaiola 1	data	massa interceptada (g)	tempo coleta (dias)	area (m ²)	massa interceptada/dia/area (g/(dia*m ²))
Início coleta	07/01/2026	0	0	0,1914	0
Primeira coleta	14/01/2026	115,81	7	0,1914	86,438
Segunda coleta	21/01/2026	149,83	7	0,1914	111,830
Terceira coleta	31/01/2026	296,25	10	0,1914	154,781
Quarta coleta	19/02/2026	144,58	19	0,1914	39,757
Quinta coleta	18/04/2026	110,01	58	0,1914	9,910
	total =	816,48	101		402,716
				media =	80,543
				media para todo o período =	42,236
				% aumento de massa interceptada	63,8819%

Para aprofundar a avaliação quantitativa além da massa absoluta retida, a análise comparativa englobou o cálculo da taxa de acúmulo específico diário. Conforme sistematizado nas tabelas — que já apresentam a média geral e a média calculada para cada período amostral —, esta métrica normalizada foi obtida através da razão entre a quantidade de massa recolhida e o produto do número de dias pela área útil da respectiva gaiola (g/(m².x dia)). O objetivo deste indicador é padronizar o balanço de retenção de sólidos, mitigando as distorções causadas por intervalos irregulares de limpeza em campo e pelas sutis diferenças dimensionais entre os dois protótipos.

Ao confrontar os resultados desta formulação matemática, a disparidade de desempenho entre as estruturas torna-se ainda mais evidente. A análise comparativa atesta que a Gaiola 2 registrou quase 64% de aumento de massa interceptada em relação à Gaiola 1, sob a ótica desta taxa de deposição específica normalizada.

Esta diferença marcante é explicada mecanicamente pela geometria das aberturas das grelhas superficiais. A grelha da galeria pluvial (Gaiola 1) possui vãos estreitos que funcionaram como uma barreira primária severa na superfície, retendo os resíduos sólidos de maior porte diretamente sobre o pavimento e permitindo apenas o ingresso de frações finas de poeira e micro biomassa. Em contrapartida, a grelha de barras longitudinais e vãos amplos do bueiro lateral (Gaiola 2) ofereceu resistência física mínima ao escoamento, transferindo integralmente para a malha interna de 10x10 mm do protótipo a função de filtragem principal.

Este incremento expressivo evidencia a extrema vulnerabilidade do sistema de microdrenagem ao carregamento volumoso de biomassa e lixo antropogênico. A superioridade deste índice na Gaiola 2 comprova a necessidade imperativa de implantação das gaiolas coletoras como barreira de proteção física. É fundamental reiterar que a menor taxa de acúmulo observada na Gaiola 1 não traduz uma solução ou eficiência da grelha restritiva, mas sim uma transferência do problema: os vãos estreitos impedem a entrada local dos detritos, fazendo com que a carga poluidora continue a escoar superficialmente em direção à avenida e aos bueiros a jusante. Dessa forma, a alta taxa específica de interceptação alcançada pela Gaiola 2 consolida o protótipo como uma solução de engenharia essencial. A gaiola atua de maneira eficaz ao reter a poluição difusa diretamente na fonte, impedindo que esse volume crítico alcance as galerias e cause o rápido colapso hidráulico da rede subterrânea.

Qualitativamente, o perfil dos materiais coletados também divergiu de forma drástica. A Gaiola 1 recebeu uma carga constituída quase a totalidade por material terroso fino, sedimentos densos e fragmentos foliares degradados. Já a Gaiola 2 apresentou uma composição rica em poluentes grosseiros de origem vegetal (folhas íntegras, sementes pesadas e galhos espessos), além de macro resíduos antropogênicos (como plásticos e copos descartáveis).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso cumpriu com êxito os seus objetivos ao avaliar de forma prática, quantitativa e qualitativa o desempenho de gaiolas coletoras como medida mitigadora para a gestão de resíduos sólidos no sistema de micro drenagem do estacionamento do Campus Nova Suíça (CEFET-MG). O acompanhamento experimental contínuo permitiu consolidar dados empíricos valiosos sobre a dinâmica de carreamento de detritos e a eficiência do controle de poluição difusa na fonte.

A investigação demonstrou que a eficiência da acumulação de resíduos não é ditada apenas pelo volume da estrutura de contenção, mas é fortemente dependente das condições físicas da interface de superfície. O estudo comprovou que estruturas restritivas, como a grelha de vãos reduzidos da Gaiola 1, barram os resíduos volumosos na superfície, mas não resolvem o problema do carreamento, atuando apenas na transferência da carga poluidora ao longo da via para os pontos situados a jusante. Por outro lado, caixas de captação com grelhas de ampla abertura tornam-se coletores críticos de biomassa e lixo antropogênico, cenários nos quais a Gaiola 2 demonstrou excelente eficiência ao interceptar 960,05 g de material particulado grosseiro (Gross Pollutants) em apenas quatro meses de monitoramento.

Uma contribuição fundamental desta pesquisa reside na análise técnica do material de fundo (fração passante). A constatação de que a massa depositada na base do bueiro (1424,14 g) superou a massa retida na própria malha da Gaiola 2 evidencia a elevada densidade específica dos sedimentos finos, poeira urbana e matéria orgânica triturada. Este achado revela uma limitação física inerente do dispositivo de malha 10x10 mm em relação a partículas submilimétricas. Conclui-se que, embora a gaiola evite com sucesso obstruções severas por resíduos volumosos (como plásticos e galhos), a sua implantação deve ser acompanhada de um programa de manutenção que contemple a limpeza periódica do lodo de fundo, a fim de mitigar o assoreamento crônico da rede subterrânea.

Sob o aspecto construtivo e econômico, os protótipos confeccionados com cantoneiras de alumínio e tela de aço galvanizado mostraram-se plenamente viáveis. Apresentaram baixo custo de fabricação, alta resistência mecânica frente aos fluxos hídricos e facilidade de manuseio operacional pelas equipes de manutenção, dispensando o uso de maquinário complexo para a limpeza.

Em suma, as gaiolas coletoras consolidam-se como uma tecnologia de Drenagem Urbana Sustentável (DUS) de alto impacto positivo. A sua adoção, aliada a uma gestão

preventiva baseada na sazonalidade pluviométrica, constitui uma estratégia de engenharia eficaz para prolongar a vida útil das galerias pluviais, reduzir os custos públicos com desobstrução e mitigar os riscos de inundações na malha urbana.

7. TRABALHOS FUTUROS

Como desdobramento metodológico desta pesquisa e visando o aprimoramento contínuo dos sistemas de controle de poluição difusa na microdrenagem urbana, recomendam-se as seguintes diretrizes para investigações futuras:

- **Alteração da Interface Superficial e Avaliação da Galeria Central (Gaiola 1):** Propõe-se a substituição da grelha restritiva do Bueiro 1 por uma estrutura de vãos amplos, idêntica à utilizada na Gaiola 2. Esta alteração permitirá isolar as variáveis de contorno, determinando se o baixo acúmulo de massa verificado neste ponto decorreu estritamente do bloqueio físico da grade original ou se o perfil de aporte da área de captação central é essencialmente distinto. Além disso, considerando que este dispositivo está integrado em uma galeria pluvial de 8 metros de comprimento na via central do estacionamento, sugere-se expandir a análise para abranger a dinâmica de escoamento e a quantidade de sólidos de toda a extensão dessa galeria estrutural.
- **Mapeamento Longitudinal da Galeria Lateral (Gaiola 2):** Recomenda-se o estudo do comportamento do fluxo e da deposição de resíduos ao longo de toda a galeria de 19 metros onde a Gaiola 2 está inserida. Tendo em vista que a extremidade oposta dessa galeria apresenta uma configuração crítica — caracterizada por uma densa cobertura arbórea e uma elevada concentração de pedestres —, sugere-se a instalação de novas gaiolas coletoras nesses pontos estratégicos. Essa estratégia tornará possível interceptar o expressivo volume de material gerado nessa área e mapear com precisão como os detritos se distribuem ao longo do conduto.
- **Monitoramento Extra-Muros na Avenida Amazonas:** Sugere-se a adaptação e a implementação do protótipo na boca de lobo da rede municipal mais próxima ao perímetro do CEFET-MG, localizada na Avenida Amazonas. Este monitoramento externo será fundamental para caracterizar qualitativa e quantitativamente o perfil dos detritos captados na via pública, permitindo verificar se a maior fração do material transportado é proveniente do escoamento superficial gerado no interior do próprio campus ou se decorre da dinâmica de tráfego e deposição exclusiva da artéria urbana.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRH - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS. Captura de Resíduos Sólidos Drenados em uma Bacia Hidrográfica Urbana. 2007. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/eventos/trabalhos/39579.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2025.

ABRH - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS. Gestão de águas pluviais em áreas urbanas: Manual de drenagem urbana. Curitiba: ABRH, 2007.

ALMEIDA, Danilo de Carvalho Botelho. O éthos urbanístico do Acaba Mundo: estabilização, manutenção e reprodução do modelo de canalizações de cursos d'água desde a construção de Belo Horizonte. 2021. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/33910>. Acesso em: 26 nov. 2025.

BORSAGLI, Alessandro. Do convívio à ruptura: a cartografia na análise histórico-fluvial de Belo Horizonte (1894/1977). 2016. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <http://curraldelrei.blogspot.com/2016/09/belo-horizonte-e-seus-corregos-soterrados-o-mapa-do-esquecimento.html>. Acesso em: 26 nov. 2025.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Guia para a elaboração de planos municipais de saneamento. Brasília: [s.n.], 2011.

CBH RIO DAS VELHAS. Ribeirão Arrudas. 2016. Disponível em: https://cbhvelhas.org.br/wp-content/uploads/2016/04/06_cartilha_arrudas_225x27cm_2016_04_13_issuuu.pdf. Acesso em: 28 nov. 2025.

COELHO, Márcia Maria Leme; **LIMA,** João Gabriel de Azevedo. Eficiência hidráulica de bocas de lobo situadas em sarjetas de greide contínuo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, Minas Gerais, v. 16, p. 133-143, 2011.

COBRAPE. Estudos técnicos e de viabilidade econômica, serviços preliminares, anteprojetos, projetos básicos e executivos referentes à reestruturação e revitalização ambiental dos córregos da bacia do ribeirão arrudas/BH. 2014. Disponível em: https://www.cobrape.com.br/det_portfolio.php?id=447. Acesso em: 28 nov. 2025.

DER-SP. Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas. Diretrizes para projeto de Drenagem Rodoviária. 2011.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de Drenagem. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

FUNASA, (Fundação Nacional de Saúde). Caderno Temático: Drenagem e Manejo Das Águas Pluviais Urbanas. Brasília: [s.n.], 2016.

LIMA, Geiza Hellen Alves Toledo de. Dimensionamento do sistema de drenagem pluvial para o Loteamento Santa Bárbara em Centralina MG. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

LIMA, João Gabriel de Azevedo. Investigações Experimentais da Eficiência Hidráulica em Bocas-de-lobo em Greide Contínuo. 2007. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

MDR - MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Drenagem Urbana. Brasília: MDR, 22 abr. 2014.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; **VEROL,** Aline Pires; **REZENDE,** Osvaldo Moura. DRENAGEM URBANA: DO PROJETO TRADICIONAL A SUSTENTABILIDADE. Rio de Janeiro: [s.n.], 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Brasília, DF: MMA, 2010.

NEVES, Marllus Gustavo Ferreira Passos das. Quantificação de resíduos sólidos na drenagem urbana. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

NEVES, Marllus Gustavo Ferreira Passos das; **TUCCI,** Carlos Eduardo Morelli. Gerenciamento Integrado em Drenagem Urbana: Quantificação e Controle de Resíduos Sólidos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 4, p. 57-75, out./dez. 2003.

RAUEN, Michely; **TSCHOKE,** Gabriele. EQUAÇÃO DE CHUVAS INTENSAS PARA O MUNICÍPIO DE RIO NEGRO PARANÁ: PESQUISA EXPERIMENTAL. In: **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, 2017.

SARIMIN, Muhammad Khairul Fitri Bin et al. THE EFFECTIVENESS OF PROPOSED DESIGN OF A RUBBISH TRAP SYSTEM. 2020. Dissertação - Universiti Teknologi Malaysia, Malásia, 2020.

SHAH, Mohd et al. Design and development of trash trap of stream for mini hydro. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 45, 2021.

SILVA, Camila Ely Januário. Avaliação da Presença de Resíduos Sólidos em Rede de Microdrenagem na Bacia de Coqueiros em Florianópolis, Santa Catarina. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

SUDECAP, Superintendência de Desenvolvimento da Capital. CADERNO DE ENCARGOS SUDECAP. Prefeitura de Belo Horizonte, Belo Horizonte, v. 4, 2020.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, 2008.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, 2004.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; **PORTO**, Rubem La Laina; **BARROS**, Mário T. de. Drenagem urbana. 1994.

UFMG. A bacia do rio Arrudas: Análise das inundações entre 1930 a 2005 no município de Belo Horizonte/MG. 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/CINC-8T8GNH/1/14022014_tese_final.pdf. Acesso em: 28 nov. 2025.

VIEIRA, Jéssica Batista. Estudo de caso sobre alagamentos da Travessa Washington de Carvalho - Para cidade de Anápolis. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Evangélica, Anápolis, 2018.

WILKEN, Paulo Sampaio. Engenharia de drenagem superficial: Estruturas Hidráulicas Singulares. São Paulo: CETESB, v. 4, 1977.B