

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS  
GERAIS – *CAMPUS* SANTA LUZIA  
ESPECIALIZAÇÃO EM PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL

Otávio Rogério da Costa

**HIDROLOGIA E DRENAGEM URBANA NA PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO DE  
RISCOS HIDROLÓGICOS EM BELO HORIZONTE – MG: análise de sensibilidade e  
diagnóstico da eficiência de jardins de chuva como solução baseada na natureza**

Santa Luzia

2025

OTÁVIO ROGÉRIO DA COSTA

**HIDROLOGIA E DRENAGEM URBANA NA PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO DE RISCOS HIDROLÓGICOS EM BELO HORIZONTE – MG: análise de sensibilidade e diagnóstico da eficiência de jardins de chuva como solução baseada na natureza**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização em Proteção e Defesa Civil, do Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus* Santa Luzia, para obtenção do grau de Especialista em Proteção e Defesa Civil.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Augusto de Miranda.

Santa Luzia

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C837h Costa, Otávio Rogério da .

Hidrologia e drenagem urbana na prevenção e mitigação de riscos hidrológicos em Belo Horizonte – MG: análise de sensibilidade e diagnóstico da eficiência de jardins de chuva como solução baseada na natureza / Otávio Rogério da Costa- 2025.

117 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Proteção e Defesa Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais - Campus Santa Luzia, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Augusto de Miranda.

1. Hidrologia urbana. 2. Planejamento urbano. 3. Gestão da água. I. Miranda, Daniel Augusto de. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Santa Luzia, MG. III. Título.

CDU: 711.4(815.163.6)



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA**  
**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS**  
Campus Santa Luzia  
Diretoria de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Docência Eixo SQA (Sustentabilidade e Questões Ambientais)  
Rua Érico Veríssimo, 317 - Bairro Londrina - CEP 33115-390 - Santa Luzia - MG  
3136343910 - www.ifmg.edu.br

**ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aos 04 dias do mês de junho do ano de 2025, às 18 horas, sob a presidência do Professor Orientador Daniel Augusto de Miranda, o discente Otávio Rogério da Costa, do Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Proteção e Defesa Civil, R.A nº 0080483, defendeu o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “HIDROLOGIA E DRENAGEM URBANA NA PREVENÇÃO E MITIGAÇÃO DE RISCOS HIDROLÓGICOS EM BELO HORIZONTE – MG: análise de sensibilidade e diagnóstico da eficiência de jardins de chuva como solução baseada na natureza” e foi APROVADO, condicionado ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa do TCC.

O discente deverá apresentar o trabalho com as devidas modificações, conforme sugestões dos professores examinadores, em formato .pdf, em 24/06/2025 (20 dias corridos após a data da defesa) na sala de TCC da plataforma de EaD. O não cumprimento dos procedimentos pós-defesa de TCC, até a data estipulada, implica em REPROVAÇÃO.

Assinam esse documento o Professor Orientador, os demais membros da banca examinadora, Prof.ª Verônica Bernardes de Souza Léo e Prof. Cap BM Filemom Henrique Costa Fernandes, e o discente.

Em: 04 / 06 / 2025

Assinatura do orientador, membros da banca e estudante.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** DANIEL AUGUSTO DE MIRANDA  
Data: 05/06/2025 08:31:25-0300  
Verifique em <https://validar.ifmg.gov.br>

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** VERONICA BERNARDES DE SOUZA LEO  
Data: 05/06/2025 08:39:31-0300  
Verifique em <https://validar.ifmg.gov.br>

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** OTAVIO ROGERIO DA COSTA  
Data: 05/06/2025 08:46:17-0300  
Verifique em <https://validar.ifmg.gov.br>

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** FILEMOM HENRIQUE COSTA FERNANDES  
Data: 05/06/2025 09:01:05-0300  
Verifique em <https://validar.ifmg.gov.br>

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a toda minha família, que sempre me deu suporte e incentivo para estudar e continuar estudando até hoje.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Daniel Augusto de Miranda, que tive o imenso prazer de conhecer nessa jornada e que, com paciência e dedicação, me guiou na elaboração deste trabalho, sempre com cordialidade e inteligência admiráveis e inspiradoras.

Expresso minha gratidão especial à Mestra em Tecnologia e Gestão Ambiental, Maria Thereza Rocha Chaves, que, voluntariamente, nos instruiu com relevantes informações sobre os jardins de chuva, compartilhando prontamente os dados da sua pesquisa de mestrado, sempre com muita simpatia e entusiasmo.

Sou também grato a todos os professores e colaboradores do IFMG de Santa Luzia e do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais, que tornaram possível a realização deste curso, elaborando materiais de alta qualidade técnica e ministrando aulas com maestria. Tenho imensa satisfação por ter feito parte da primeira turma deste curso, que, sem dúvida, agregou muito conhecimento e se tornou um diferencial em minha trajetória profissional e acadêmica.

“A dúvida é o princípio da sabedoria.”

Aristóteles

## RESUMO

O município de Belo Horizonte - MG, devido à sua topografia acidentada e altos índices de precipitação e impermeabilização do solo, enfrenta desafios significativos relacionados aos riscos hidrológicos, como inundações e alagamentos. Neste contexto, os jardins de chuva surgem como uma solução sustentável, baseada na natureza, promovendo a retenção e a infiltração das águas pluviais, e reduzindo, por consequência, o escoamento superficial. Este estudo analisou a eficiência hidrológica dos jardins de chuva implantados na Regional Norte de Belo Horizonte, a partir de uma análise de sensibilidade que considerou variáveis como índices de precipitação, taxa de infiltração do solo, área do dispositivo, borda livre, área de contribuição e coeficiente de escoamento superficial. Para isso, foram realizadas simulações computacionais utilizando planilhas de modelagem. Os resultados das análises de sensibilidade e das simulações hipotéticas realizadas demonstraram que, embora os jardins de chuva sejam eficazes na retenção de volumes consideráveis de águas pluviais – alcançando eficiência acima de 40% em quase todos os casos analisados, e chegando até mesmo em 100% em alguns –, sua eficiência é evidentemente afetada por fatores como dimensionamento incorreto (especialmente quanto à área de contribuição), manutenção inadequada, acúmulo de resíduos, declividade do terreno onde está implantado e variações na intensidade das chuvas. Já o diagnóstico no município de Belo Horizonte revelou que as estruturas implantadas têm eficiência pouco expressiva, sendo inferiores a 15% nos cenários observados, uma vez que são insuficientes para atender grandes áreas, da forma como estão dispostos. Conclui-se que, para maximizar os benefícios dessa técnica compensatória, é fundamental adotar uma abordagem integrada, que envolva planejamento urbano, manutenção contínua dos dispositivos, monitoramento de dados, engajamento da comunidade local na conservação desses espaços e incentivos para que sejam implantados diretamente nas residências, áreas comerciais e industriais, principalmente e localidades onde a taxa de permeabilidade seja baixa.

**Palavras-chave:** Riscos hidrológicos. Drenagem sustentável. Soluções baseadas na natureza. Modelagem. Eficiência hidrológica.

## ABSTRACT

The municipality of Belo Horizonte, Minas Gerais, due to its rugged topography and high rates of precipitation and soil impermeability, faces significant challenges related to hydrological risks, such as flooding. In this context, rain gardens emerge as a sustainable, nature-based solution, promoting the retention and infiltration of rainwater, and consequently reducing surface runoff. This study analyzed the hydrological efficiency of rain gardens implemented in the Northern Region of Belo Horizonte, based on a sensitivity analysis that considered variables such as precipitation rates, soil infiltration rate, device area, freeboard, contribution area and surface runoff coefficient. For this, computational simulations were performed using modeling spreadsheets. The results of the sensitivity analyses and hypothetical simulations performed demonstrated that, although rain gardens are effective in retaining considerable volumes of rainwater – achieving efficiency above 40% in almost all cases analyzed, and even reaching 100% in some –, their efficiency is clearly affected by factors such as incorrect sizing (especially regarding the contribution area), inadequate maintenance, accumulation of waste, slope of the land where they are installed, and variations in rainfall intensity. The diagnosis in the city of Belo Horizonte revealed that the implemented structures have little efficiency, being less than 15% in the observed scenarios, since they are insufficient to serve large areas, as they are currently arranged. It is concluded that, in order to maximize the benefits of this compensatory technique, it is essential to adopt an integrated approach, which involves urban planning, continuous maintenance of the devices, data monitoring, engagement of the local community in the conservation of these spaces, and incentives for their implementation directly in residences, commercial and industrial areas, especially in locations where the permeability rate is low.

**Keywords:** Hydrological risks. Sustainable drainage. Nature-based solutions. Modeling. Hydrological efficiency.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diferença entre enchentes, inundações e alagamentos .....	21
Figura 2 – Perfil transversal do canal de um rio.....	22
Figura 3 – Movimento de massa na regional Centro-Sul de Belo Horizonte.....	23
Figura 4 – Regionais de Belo Horizonte .....	25
Figura 5 – Evolução da ocupação do território de BH pelas empresas e pessoas .....	26
Figura 6 – Mapa de declividade de Belo Horizonte .....	28
Figura 7 – Temporal ocorrido em BH em janeiro de 2024.....	30
Figura 8 – Risco Geológico: alerta para deslizamentos de terra ocasionados pela chuva acumulada em maio de 2022 .....	31
Figura 9 – Carta de inundações de Belo Horizonte, com número de pontos de alagamento registrados em 2019.....	33
Figura 10 – Estrutura básica de um jardim de chuva .....	34
Figura 11 – Jardim de chuva implantado em São Paulo/SP .....	36
Figura 12 – Jardim de chuva implantado em Belo Horizonte, através do “Programa Adote um Jardim de Chuva” .....	36
Figura 13 – Jardim de chuva implantado em Belo Horizonte, através do “Programa Adote um Jardim de Chuva” .....	37
Figura 14 – Exemplo do método de divisão pelas bissetrizes na esquina .....	46
Figura 15 – Localização da quadra do jardim de chuva de tipologia simples, com marcação do eixo das ruas (a seta vermelha indica a posição do jardim).....	46
Figura 16 – Fração da quadra que será considerada nas áreas de contribuição.....	47
Figura 17 – Aplicação do método das bissetrizes nas esquinas e determinação da área de contribuição do jardim de chuva (trapézio irregular do lado esquerdo).....	47
Figura 18 – Localização da quadra do jardim de chuva de tipologia dupla (em roxo), com marcação do eixo das ruas .....	48
Figura 19 – Aplicação do método das bissetrizes nas esquinas e determinação da área de contribuição do jardim de chuva (trapézio do lado esquerdo, destacado em amarelo).....	49
Figura 20 – Localização dos jardins de chuva no município de Belo Horizonte (circulados em vermelho).....	53
Figura 21 – Localização dos jardins de chuva no município de Belo Horizonte (vista aproximada, mostrando os bairros) .....	53

Figura 22 – Jardim de chuva implantado no ano de 2023 na Rua Cel. Emílio Martins, próximo ao número 233, no Bairro Santa Amélia .....	54
Figura 23 – Jardim de tipologia simples (R. Moura Costa, 81, Planalto, Belo Horizonte, MG) .....	55
Figura 24 – Jardim de tipologia dupla (R. Professor Massanielo Santos, 173, Planalto, Belo Horizonte, MG) .....	55
Figura 25 – Jardim de tipologia dupla, vista frontal (R. Professor Massanielo Santos, 173, Planalto, Belo Horizonte, MG).....	56
Figura 26 – Corte longitudinal de um jardim de tipologia simples do Tipo A .....	56
Figura 27 – Corte longitudinal de um jardim de tipologia simples do Tipo B.....	57
Figura 28 – Jardim de chuva com acúmulo de lixo e matéria orgânica .....	61
Figura 29 – Jardim de chuva com perda quase total de sua vegetação .....	62
Figura 30 – Água escoando para o sentido contrário do jardim de chuva, pela ausência de sarjetas .....	62
Figura 31 – Água empoçando ao redor e escoando para o sentido contrário ao do jardim de chuva, pela ausência de sarjetas .....	63
Figura 32 – Relação de eficiência do jardim de chuva de acordo com a duração da chuva, para diferentes tempos de retorno (TR).....	65

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Espécies vegetais implantadas nos jardins de chuva em Belo Horizonte.....	57
Quadro 2 – Principais problemas encontrados nos jardins de chuva implantados em Belo Horizonte, durante a visita de campo .....	60
Tabela 1 – Precipitação total mensal acumulada de 2022 a 2025 e média histórica em Belo Horizonte, em milímetros (mm) .....	29
Tabela 2 – Porosidade dos principais materiais.....	39
Tabela 3 – Porosidade dos solos .....	40
Tabela 4 – Porosidade dos solos .....	40
Tabela 5 – Coeficiente de escoamento superficial (run-off).....	49
Tabela 6 – Coeficiente de escoamento superficial (run-off).....	50
Tabela 7 – Comparação entre as camadas e a profundidade dos jardins de tipologia simples do Tipo A e Tipo B.....	59
Tabela 8 – Comparação da eficiência do jardim de chuva modelo em diferentes cenários de tempo de retorno (TR) e duração de chuvas (t) de Belo Horizonte.....	64
Tabela 9 – Análise de sensibilidade dos jardins de chuva de Belo Horizonte, comparado ao modelo de referência, para TR = 10 anos e t = 120 min.....	67
Tabela 10 – Diagnóstico da situação real dos jardins de chuva em Belo Horizonte, para TR = 10 anos e t = 120 min .....	69
Tabela 11 – Taxas de permeabilidade mínimas exigidas em Belo Horizonte.....	70
Tabela 12 - Eficiência dos jardins de chuva das duas situações hipotéticas modeladas .....	71

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	16
2. OBJETIVOS .....	19
2.1. Objetivo geral.....	19
2.2. Objetivos específicos.....	19
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1. Conceitos fundamentais .....	20
3.1.1. <i>Hidrologia e drenagem urbana</i> .....	20
3.1.2. <i>Enchentes, inundações e alagamentos</i> .....	21
3.1.3. <i>Movimentos de massa</i> .....	22
3.2. Caracterização do município de Belo Horizonte .....	23
3.2.1. <i>Geografia, demografia e subdivisões</i> .....	23
3.2.2. <i>Topografia</i> .....	27
3.2.3. <i>Precipitação e eventos climáticos extremos</i> .....	29
3.2.4. <i>Sistema de drenagem</i> .....	31
3.3. Os jardins de chuva como soluções baseadas na natureza para mitigação dos problemas de drenagem urbana .....	33
3.3.1. <i>Conceitos iniciais, estrutura e implantação</i> .....	33
3.3.2. <i>Parâmetros técnicos de eficiência de drenagem dos jardins de chuva</i> .....	38
3.3.3. <i>Relatos de outros autores sobre a eficiência hidrológica dos jardins de chuva</i>	41
4. METODOLOGIA .....	43
4.1. Caracterização da área de estudo e dos jardins de chuva já implantados em diversos bairros de Belo Horizonte .....	52
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
5.1. Considerações sobre a visita de campo.....	59
5.2. Análise de sensibilidade quanto à eficiência de um modelo de jardim de chuva e diagnóstico dos dispositivos implantados em Belo Horizonte.....	63
6. CONCLUSÃO .....	72
REFERÊNCIAS .....	75
APÊNDICE A.1 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 10 anos e t = 10 minutos em Belo Horizonte.....	82
APÊNDICE A.2 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 10 anos e t = 30 minutos em Belo Horizonte.....	83

<b>APÊNDICE A.3 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 10 anos e t = 45 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>84</b>
<b>APÊNDICE A.4 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 10 anos e t = 60 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>85</b>
<b>APÊNDICE A.5 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 10 anos e t = 90 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>86</b>
<b>APÊNDICE A.6 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 10 anos e t = 120 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>87</b>
<b>APÊNDICE B.1 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 25 anos e t = 10 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>88</b>
<b>APÊNDICE B.2 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 25 anos e t = 30 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>89</b>
<b>APÊNDICE B.3 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 25 anos e t = 45 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>90</b>
<b>APÊNDICE B.4 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 25 anos e t = 60 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>91</b>
<b>APÊNDICE B.5 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 25 anos e t = 90 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICE B.6 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 25 anos e t = 120 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>93</b>
<b>APÊNDICE C.1 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 50 anos e t = 10 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>94</b>
<b>APÊNDICE C.2 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 50 anos e t = 30 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE C.3 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 50 anos e t = 45 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>96</b>
<b>APÊNDICE C.4 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 50 anos e t = 60 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE C.5 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 50 anos e t = 90 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>98</b>
<b>APÊNDICE C.6 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 50 anos e t = 120 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICE D.1 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 100 anos e t = 10 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>100</b>

<b>APÊNDICE D.2 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 100 anos e t = 30 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>101</b>
<b>APÊNDICE D.3 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 100 anos e t = 45 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>102</b>
<b>APÊNDICE D.4 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 100 anos e t = 60 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>103</b>
<b>APÊNDICE D.5 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 100 anos e t = 90 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>104</b>
<b>APÊNDICE D.6 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 100 anos e t = 120 minutos em Belo Horizonte.....</b>	<b>105</b>
<b>APÊNDICE E – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando a Intensidade de Precipitação .....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE F – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando a Taxa de Infiltração .....</b>	<b>107</b>
<b>APÊNDICE G – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando a Área do Jardim .....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE H.1 – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando a Área de Contribuição <sup>(1)</sup> .....</b>	<b>109</b>
<b>APÊNDICE H.2 – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando a Área de Contribuição <sup>(2)</sup> .....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE I – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando a Borda Livre (Hc) .....</b>	<b>111</b>
<b>APÊNDICE J – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando o Coeficiente de Escoamento Superficial.....</b>	<b>112</b>
<b>APÊNDICE K.1 – Diagnóstico da situação real dos jardins de chuva em Belo Horizonte, para TR = 10 anos e t = 120 min, Tipologia Simples .....</b>	<b>113</b>

<b>APÊNDICE K.2 – Diagnóstico da situação real dos jardins de chuva em Belo Horizonte, para TR = 10 anos e t = 120 min, Tipologia Dupla .....</b>	<b>114</b>
<b>APÊNDICE L.1 – Eficiência do jardim de chuva da primeira situação hipotética modelada, com TR = 10 anos e t = 10 minutos.....</b>	<b>115</b>
<b>APÊNDICE L.2 – Eficiência do jardim de chuva da segunda situação hipotética modelada, com TR = 10 anos e t = 30 minutos.....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO A – Jardim de Chuva - Tipologia Simples.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO B – Jardim de Chuva - Tipologia Dupla .....</b>	<b>118</b>

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A gestão eficaz dos recursos hídricos para a mitigação dos riscos associados às enchentes, inundações, alagamentos e movimentos de massa representam desafios significativos para as áreas urbanas em todo o mundo, ainda mais para grandes municípios que se encontram em ambientes topograficamente complexos, como é o caso de Belo Horizonte, localizada no estado de Minas Gerais, Brasil. Por ser uma região montanhosa, numa combinação de planícies, morros e encostas, a capital mineira é suscetível a eventos hidrológicos extremos que, frequentemente, resultam em escoamentos rápidos e volumosos e em consideráveis danos à infraestrutura, ao meio ambiente e à vida humana, especialmente em épocas chuvosas (Drumond; Almeida; Nascimento, 2023, p. 900; Rodrigues; Silva; 2022, p. 4304-4308). Esses riscos aumentam nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, que são as épocas de maior intensidade de precipitação, segundo a série histórica de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Os riscos elencados no primeiro parágrafo enquadram-se como riscos hidrológicos – elencados na Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE) sob os códigos 1.2.1.0.0 (enchentes e inundações) e 1.2.3.0.0 (alagamentos), sendo que os movimentos de massa também pertencem ao grupo dos riscos geológicos, onde há, por exemplo, os deslizamentos (COBRADE 1.1.3.2.1) e as corridas de massa (COBRADE 1.1.3.3.1 para solo/lama e 1.1.3.3.2 para rocha/detrito). Estes se referem a fenômenos naturais que envolvem as interações entre a água, o solo e a topografia, que são desencadeados por eventos como chuvas intensas que, com frequência, resultam em enchentes, inundações e alagamentos, que serão abordados ao longo desta pesquisa (Londe *et al.*, 2014, p. 134-135; Amaral; Ferreira; Tiezzi, 2021, p. 3).

A interação entre as características físicas do município, os padrões climáticos locais e as atividades antropogênicas, como a expansão desordenada da urbanização, o denso povoamento, o desmatamento de encostas, a impermeabilização do solo devido ao crescimento urbano, e a ineficácia ou ausência de infraestrutura de drenagem, são fatores que contribuem para o agravamento da situação e aumento dos riscos hidrológicos em Belo Horizonte. Consoante a isso, Lucas *et al.* (2015, p. 8) explicam que, embora tenham origens em fenômenos naturais, as enchentes, inundações e alagamentos:

[...] são potencializadas pelo processo de urbanização devido à ocupação do solo e transformação desse em superfícies impermeáveis, aumentando a velocidade de escoamento superficial e alterando o ciclo hidrológico, já que diminui a infiltração,

além de favorecer a poluição das águas, comprometer a qualidade e diminuir a recarga dos reservatórios subterrâneos.

Os riscos hidrológicos também acarretam em riscos de deslizamentos pela instabilidade de taludes e encostas – fenômeno em que a capital mineira apresenta índices bastante elevados, de igual modo causados por fenômenos da natureza, mas potencializados pelas ações antrópicas. Segundo Moreira e Barbieri (2020):

A cidade possui cerca de 45% do seu território com suscetibilidade de deslizamentos de terra devido a três fatores principais: a ocupação humana desordenada, principalmente em áreas de risco, a intensificação das chuvas e dos períodos pluviométricos e o perfil geológico do município.

Mediante estes sérios problemas, a aplicação de conhecimentos em hidrologia e drenagem urbana surge como uma ferramenta essencial na prevenção e mitigação dos impactos causados pelos fenômenos hidrológicos mencionados, bastante presentes em Belo Horizonte. Dentre diversas técnicas, as principais incluem a implementação de sistemas de drenagem sustentáveis, como pavimentos permeáveis, bacias de retenção, canais de drenagem e jardins de chuva, que são dispositivos projetados para coletar, armazenar e direcionar as águas pluviais (Benedito Junior, Longo e Lima, 2024, p. 9).

Considerando a importância deste assunto, procedeu-se a uma abordagem multidisciplinar, que integra conceitos de engenharia civil, geociências, ciências ambientais e planejamento urbano, identificando os problemas e buscando soluções com técnicas compensatórias, baseadas na natureza, para enfrentar os desafios relacionados à gestão dos recursos hídricos e à proteção das áreas urbanas contra eventos extremos. A formulação teórica e conceitual para a pesquisa acerca desta ferramenta baseou-se, principalmente, na dissertação de mestrado “Jardim de Chuva como Solução Baseada na Natureza em Ambiente Tropical Urbano: Critérios de Design, Desempenho Hidrológico e Adaptabilidade Vegetal”, de autoria de Maria Thereza Rocha Chaves (2024), desenvolvida no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *campus* Fortaleza, que também serviu de referência para as comparações realizadas sobre a eficiência hidrológica dos dispositivos. Foi incluída, ainda, uma análise da precipitação monitorada em Fortaleza/CE no período de janeiro a maio de 2024, com a finalidade de identificar um evento pluviométrico cujas características de duração e frequência se assemelhassem às precipitações típicas de Belo Horizonte.

A despeito do termo ‘eficiência hidrológica’, consiste na capacidade de um sistema, estrutura ou dispositivo de gerenciar de forma eficaz os volumes de água que recebe, especialmente no que se refere à captação, retenção e infiltração da água da chuva. Essa eficiência é avaliada com base em critérios como a redução do volume de escoamento

superficial, o aumento da recarga do lençol freático, a mitigação de riscos hidrológicos e a melhoria da qualidade da água (Belo Horizonte, 2022, p. 14-15).

A escolha do tema justifica-se pela crescente frequência e intensidade dos eventos hidrológicos extremos em Belo Horizonte, que vêm resultando em prejuízos sociais, econômicos e ambientais cada vez mais significativos, sendo registrados 11.182 eventos de desastres hidrológicos no período de 2010 a 2023, o que corresponde a 63,6% de todas as ocorrências registradas pela Defesa Civil (Lucas *et al*, 2024, p. 5). Os impactos são perceptíveis não apenas na infraestrutura, que pode colapsar ou extravasar diante de fortes chuvas, mas também na população mais vulnerável, que reside em áreas de risco e, muitas vezes, não é devidamente atendida pelas políticas públicas de prevenção e resposta aos desastres.

Nesse contexto, a abordagem do presente trabalho mostra-se relevante ao propor a análise de uma técnica alternativa e sustentável para o controle do escoamento superficial, como os jardins de chuva, que podem reduzir de 30% a 50% deste volume através de uma estratégia de baixo custo e alto potencial de implementação em áreas urbanas densamente ocupadas, funcionando não apenas como mecanismo de drenagem, mas também como elemento ambiental e paisagístico.

Além disso, a pesquisa busca preencher lacunas existentes na literatura e na prática profissional, ao oferecer um estudo que alia teoria e aplicação prática em uma abordagem multidisciplinar, contribuindo com informações técnicas e científicas para profissionais, pesquisadores e gestores públicos envolvidos na formulação de políticas e projetos de infraestrutura verde. Ao compreender a geografia local, os processos hidrológicos e o sistema de drenagem urbana em Belo Horizonte, é possível desenvolver políticas e práticas de gestão mais eficazes, promovendo assim a segurança, a resiliência da comunidade e a sustentabilidade do ambiente urbano.

Por fim, espera-se que os resultados obtidos ao longo deste estudo também sirvam como referência para futuras pesquisas e para a implementação de soluções sustentáveis em outras regiões, incentivando o debate sobre alternativas viáveis, além da tradicional drenagem urbana, reforçando a importância da adaptação das cidades em um cenário cada vez mais instável do ponto de vista climático e hidrológico.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo geral

Avaliar a eficiência hidrológica de jardins de chuva na Regional Norte de Belo Horizonte (MG), com base em uma análise de sensibilidade de eventos chuvosos e variação de parâmetros como precipitação, taxa de infiltração do solo, área do dispositivo e área de contribuição.

### 2.2. Objetivos específicos

- Realizar um diagnóstico de jardins de chuva já implantados em Belo Horizonte, através de balanço hídrico, tendo em vista suas respectivas localidades, características físicas e construtivas, problemas encontrados e eficiência dos sistemas para lidar com eventos de chuva intensa.
- Analisar a precipitação monitorada em Fortaleza/CE entre janeiro e maio de 2024, identificando, entre os eventos observados, um que se assemelhe às precipitações de Belo Horizonte em termos de duração e frequência;
- Determinar, a partir da análise do evento selecionado, o Tempo de Retorno (TR) e a duração da chuva (t) correspondente a um evento extremo de precipitação em Belo Horizonte, estabelecendo um cenário de base para as principais simulações de eficiência hidrológica;
- Realizar análises de sensibilidade a partir da variação dos parâmetros como precipitação, taxa de infiltração do solo, área do dispositivo e área de contribuição, em relação ao cenário de base, com o intuito de determinar a eficiência hidrológica para cada cenário;
- Simular e avaliar cenários hipotéticos visando a comparação de desempenho e oportunidades de aprimoramento.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Conceitos fundamentais

##### 3.1.1. *Hidrologia e drenagem urbana*

A hidrologia é a ciência que estuda a ocorrência, distribuição e movimentação da água na Terra, envolvendo os processos que ocorrem dentro dos sistemas hídricos, como rios, lagos, aquíferos e oceanos. Sua área de estudo abrange a análise da precipitação, evaporação, transpiração vegetal, infiltração, escoamento superficial e subterrâneo, bem como a interação entre a água e o meio ambiente, sendo uma ferramenta fundamental para entender e gerenciar os recursos hídricos, prever inundações e secas, conhecer o ciclo hidrológico e projetar infraestruturas hidráulicas, como sistemas de drenagem e barragens (Rocha, 2022, p. 12-14).

Já drenagem urbana refere-se ao sistema de coleta, transporte e disposição das águas pluviais e residuais em áreas urbanas. É constituída por um complexo sistema, composto por guias (ou meios fios), sarjetas, bocas de lobo, canais, galerias de águas pluviais, poços de visita, reservatórios de detenção e outros dispositivos projetados para controlar e direcionar o escoamento da água da chuva, com o objetivo de evitar inundações e alagamentos nas áreas urbanizadas (Brasil, 2016, p. 16-21).

Ainda, um conceito um pouco mais amplo é o de hidrogeomorfologia, que é a área que associa os estudos de hidrologia com a geomorfologia, bem como os efeitos que essas interações têm sobre a paisagem. “De maneira geral, a geomorfologia é uma área do conhecimento que trata do entendimento e avaliação/apreciação das formas do relevo e da paisagem” (Goerl; Kobiyama; Santos, 2012, p. 104).

Ainda segundo Goerl, Kobiyama e Santos (2012, p. 106) *apud* Sidle e Onda (2004), define-se hidrogeomorfologia como a “ciência interdisciplinar que se concentra na ligação e interação de processos hidrológicos com as formas da paisagem ou materiais terrestres e, ainda, a interação de processos geomorfológicos com as águas superficiais ou subsuperficiais em diferentes escalas espaciais e temporais”, e elencam alguns objetos de estudo da área, que são:

Processos de *escoamento superficial* influenciados pela litologia e geomorfologia; processos erosivos superficiais ligados a canais; *fatores de modelagem hidrológica que afetam a deflagração de deslizamentos e avaliação das propriedades hidrológicas dos solos associados a deslizamentos e a interação entre precipitação e ambiente terrestre*. Ainda conforme Sidle e Onda (2004), os avanços atuais da Hidrogeomorfologia podem contribuir para estudos nas seguintes temáticas: desenvolvimento sustentável, desastres naturais e medidas mitigadoras, efeitos da mudança climática e planejamento territorial. (2012, p. 108. Grifo do autor).

Logo, fica evidente a importância da hidrogeomorfologia no estudo das enchentes, inundações e alagamentos, que são fatores de risco diretamente relacionados a fenômenos hidrológicos e geomorfológicos.

### 3.1.2. *Enchentes, inundações e alagamentos*

Enchentes, inundações e alagamentos são fenômenos relacionados ao ciclo hidrológico. Embora haja uma certa confusão no emprego dessas terminologias, e muitas vezes eles sejam usados como sinônimos, há uma distinção entre eles: enchentes e inundações estão diretamente relacionadas ao ciclo de um rio e só representam risco quando as áreas originalmente ocupadas por esses corpos d'água são urbanizadas. Na definição de Mira e Silva (2023, p. 785), “enchente corresponde à elevação do nível d'água do canal devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima, sem extravasamento” e “inundação é o extravasamento de água pelo leito maior do rio ou planície de inundação ou várzea”. Já os alagamentos são o resultado da acumulação artificial de água, causada pela impermeabilização do solo, não estando diretamente ligados aos corpos d'água naturais. Ainda, em outras palavras:

As enchentes consistem na elevação do nível de água de um rio, acima de sua capacidade natural de escoamento, em períodos da alta precipitação pluviométrica, que pode ou não causar uma inundação. Este processo consiste no extravasamento das águas do leito de escoamento (leito menor) de um corpo hídrico para a planície de inundação (leito maior). Alagamento é um processo que pode ou não ter relação de natureza fluvial. Ele é caracterizado como um acúmulo momentâneo de água em uma área, devido a deficiências nas redes de drenagem, que apresentam dificuldades na capacidade de absorção ou vazão da água (Lucas *et al.*, 2015, p. 8 *apud* Ministério das Cidades/IPT, 2007).

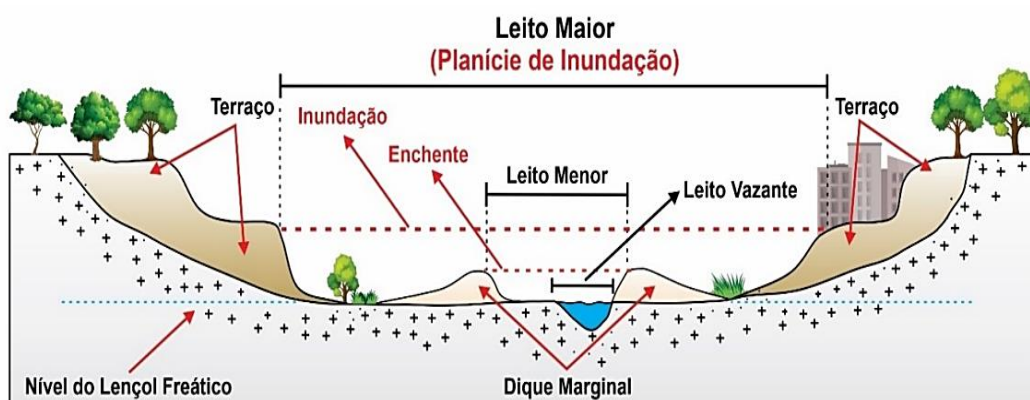
Figura 1 – Diferença entre enchentes, inundações e alagamentos



Fonte: InfoEnem (2020).

Todo rio possui duas áreas que naturalmente pode ocupar: o leito menor, que representa o volume do rio durante períodos de estiagem; e o leito maior, que é atingido durante as chuvas, especialmente as intensas e persistentes. Toda essa área é chamada de planície de inundação ou várzea (Mira; Silva, 2023, p. 785). Para melhor compreensão, é apresentada a Figura 2.

Figura 2 – Perfil transversal do canal de um rio



Fonte: Mira; Silva (2023).

Durante uma enchente, o rio atinge sua altura máxima, mas sem transbordar. No entanto, em áreas urbanizadas o leito maior do rio costuma ser ocupado por construções, estando estas dentro da área de inundação (BRASIL, 2023).

### 3.1.3. *Movimentos de massa*

Os movimentos de massa são eventos em que uma massa de solo se move para baixo de uma encosta pela ação da gravidade, carregando junto rochas, lama, detritos, vegetação e construções. Sua ocorrência está condicionada a uma série de fatores, sendo os principais as chuvas intensas, saturação do solo, declividade, tipo de solo, coesão, alterações na vegetação, atividade sísmica e atividades humanas (Guitarrara, 2022).

Trata-se de um grave fenômeno e, conforme observam Gonçalves, Nunes e Azevedo (2023, p. 19-24), está bastante presente nos desastres registrados em Belo Horizonte, sendo responsável pela morte e soterramento de pessoas todos os anos – especialmente em épocas de alta precipitação –, além de sérios prejuízos ambientais, financeiros e à infraestrutura urbana.

Figura 3 – Movimento de massa na regional Centro-Sul de Belo Horizonte



Fonte: Jornal Estado de Minas (2023).

## 3.2. Caracterização do município de Belo Horizonte

### 3.2.1. Geografia, demografia e subdivisões

De acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), concernentes ao censo 2022, Belo Horizonte é, além da capital e maior município de Minas Gerais, o sexto maior do Brasil. Com uma população de 2.315.560 pessoas, possui uma densidade demográfica de quase 7 mil habitantes por quilômetro quadrado, uma área urbanizada de 274 km<sup>2</sup> e território de 331 km<sup>2</sup>. Ainda, conta com esgotamento sanitário adequado em 96,2% das residências, e registra 389.218 pessoas expostas a áreas de risco, o que corresponde a cerca de 16,8% de toda a população do município.

Seu território está subdividido em nove regionais, que são divisões administrativas, com jurisdição própria (subprefeituras), objetivando descentralizar a gestão pública e facilitar a prestação de serviços à população. De acordo com informações da Prefeitura de Belo Horizonte (2024), as administrações regionais foram estabelecidas por lei em 2011, sendo elas:

- Barreiro: Localizada na parte sudoeste de Belo Horizonte, é uma região industrial e residencial, que abriga importantes polos industriais e comerciais. Ocupa a maior área dentre as nove regionais e seus limites fazem fronteira com os municípios de Contagem, Ibirité, Brumadinho e Nova Lima.

- Centro-Sul: É uma região central e de grande importância histórica e comercial, destacando-se como o centro financeiro do município, com grande concentração de serviços, comércio e cultura, além de conhecidos pontos turísticos, como a Praça da Liberdade, o Palácio das Artes e o Mercado Central. Seus limites divisam com o município de Nova Lima.
- Leste: Localizada na parte leste do território, é uma região predominantemente residencial, com alguns bairros comerciais. Possui uma diversidade de áreas verdes praças e parques, como a Praça Duque de Caxias. Seu território divisa com os municípios de Sabará e Nova Lima.
- Nordeste: Abrange uma área que vai do centro ao extremo nordeste do município, e possui características variadas, com áreas residenciais, comerciais e industriais. Faz divisa com os municípios de Santa Luzia e Sabará.
- Noroeste: Localizada à noroeste, abriga desde bairros tradicionais, com referências históricas (como o Aeroclube do Estado de Minas Gerais, fundado em 1936), até áreas mais recentemente urbanizadas. Conta com dois grandes parques, o Parque Ecológico do Caiçara e o Parque de Lazer Maria do Socorro Moreira. Nesta regional também está localizada a sede principal da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas). Faz divisa com o município de Contagem.
- Norte: Polo de atividade econômica, com comércio, serviço e indústria. Abrange desde áreas residenciais mais tradicionais até bairros mais recentemente urbanizados. Destaca-se o Parque Ecológico Lagoa do Nado, no Bairro Planalto, que oferece diversas opções de lazer. Seus limites fazem fronteira com os municípios de Santa Luzia e Vespasiano. É nesta regional que se concentra o presente estudo, em bairros que fazem divisa com a Pampulha.
- Oeste: Concentra um dos principais polos da moda atacadista da capital. Também tem grande área comercial e residencial. Seus limites se encontram entre os municípios de Nova Lima e Contagem.
- Pampulha: Localizada ao norte de BH, a regional abriga importantes pontos turísticos, históricos, culturais e arquitetônicos da capital mineira, como o famoso Conjunto Arquitetônico da Pampulha, projetado por Oscar Niemeyer; a Lagoa da Pampulha e a Igreja de São Francisco. Faz divisa com os municípios de Contagem e Ribeirão das Neves.
- Venda Nova: Localizada no extremo norte, é uma região que teve um rápido crescimento urbano nas últimas décadas, com bairros residenciais mais tradicionais

até novos loteamentos. É uma região em desenvolvimento, com grande potencial econômico e social. Seus limites se encontram com os municípios de Ribeirão das Neves, Vespasiano e Santa Luzia.

A Figura 4 apresenta as Regionais de Belo Horizonte e os municípios limítrofes nesta grande área conurbada.

Figura 4 – Regionais de Belo Horizonte



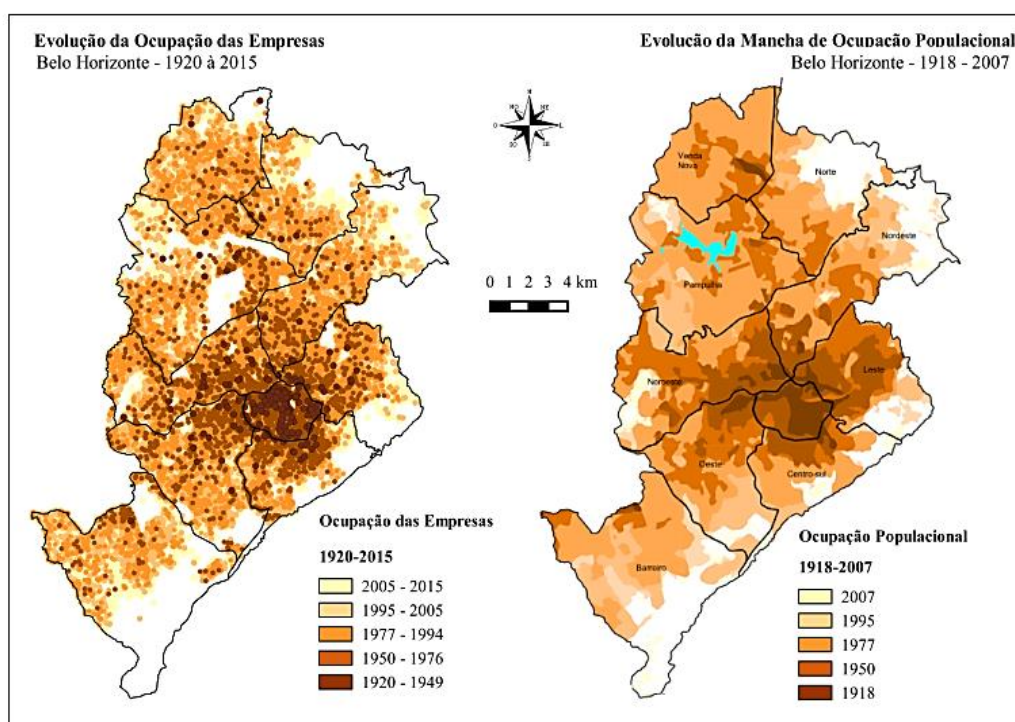
Fonte: Cruz; Nunes; Azevedo (2019).

Segundo Santos *et al.* (2016, p. 3), “Belo Horizonte foi fundada em 1897 e projetada, inicialmente para os limites da Avenida do Contorno, para comportar até 200 mil habitantes”. Atualmente (considerando os dados do censo IBGE 2022), possui 2.315.560, ou seja, 11,57 vezes mais habitantes que o limite projetado. Mesmo com as devidas adequações do plano diretor e grandes investimentos em infraestrutura por parte do poder público, a situação

de ocupação territorial ainda não está totalmente sob controle, com o município se expandindo cada vez mais para seus limites territoriais.

A ocupação irregular do solo e a urbanização desordenada são problemas comuns em BH. Em várias localidades, áreas de risco, como encostas íngremes e margens de córregos, são ocupadas por habitações informais, sem infraestrutura adequada. Essas construções aumentam significativamente a vulnerabilidade da população a desastres como deslizamentos de terra e inundações. Além disso, o desmatamento e a remoção da vegetação natural para dar lugar a novos empreendimentos imobiliários aumentam a suscetibilidade do solo a erosão e deslizamentos (Campos; Branco, 2021, p. 218-221). A Figura 5 mostra como o território de Belo Horizonte foi sendo ampliado ao longo dos anos, expandindo-se a partir da área central.

Figura 5 – Evolução da ocupação do território de BH pelas empresas e pessoas



Fonte: Santos *et al.* (2016).

Conforme pode ser observado, a ocupação do território de Belo Horizonte, tanto no aspecto empresarial quanto populacional, tornou-se muito mais densa ao longo dos anos, abrangendo quase toda a área do município. No mapa à esquerda, observa-se a concentração inicial de empresas na região central do município entre 1920 e 1949, com posterior expansão para as áreas periféricas a partir da década de 1950, acompanhando o adensamento populacional e a expansão do perímetro urbano. Já o mapa à direita mostra a evolução da ocupação

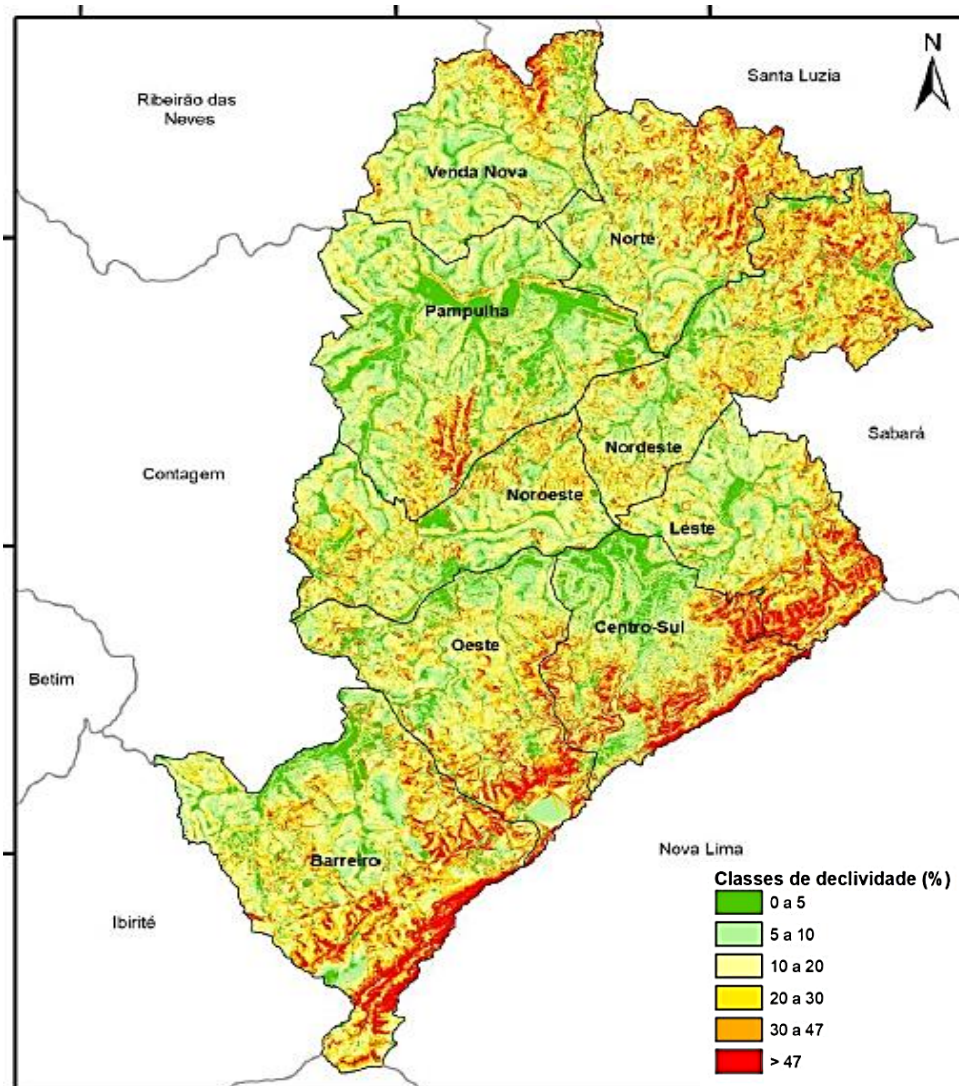
populacional desde 1918, também a partir do núcleo central, com avanços progressivos em direção ao perímetro do município nas décadas seguintes.

A análise conjunta dos dois mapas reforça o impacto da urbanização desordenada, com a ocupação gradual de áreas mais afastadas e muitas vezes inadequadas à urbanização, como encostas. Essas regiões, que apresentam maior suscetibilidade a desastres naturais, como inundações e deslizamentos, já se encontram densamente povoadas, normalmente de maneira informal e sem o devido planejamento urbano e infraestrutura.

### ***3.2.2. Topografia***

Segundo a Defesa Civil de Minas Gerais (s.d., p. 1-4), Belo Horizonte está localizada em uma região montanhosa, com muitos morros e encostas. Essa topografia acidentada, com regiões de alta declividade, aumenta o risco de deslizamentos de terra, especialmente em áreas onde o solo já se encontra fragilizado pela erosão, remoção da vegetação natural ou ocupação irregular e desordenada. Quando ocorrem chuvas intensas e prolongadas, que é característico do município, principalmente no verão, a água pode saturar o solo, tornando-o instável e propenso a deslizamentos em encostas íngremes e desprotegidas. A Figura 6 apresenta o mapa de declividade do município.

Figura 6 – Mapa de declividade de Belo Horizonte



Fonte: Cruz; Nunes; Azevedo (2019).

Conforme pode ser observado no mapa, os limites à sudeste, leste e norte do município são as regiões de maior declividade, especialmente na faixa que se inicia ao sul da Regional Barreiro, e vem contornando à leste (pela direita) as Regionais Oeste, Centro-Sul e Leste; bem como o extremo nordeste da Regional Nordeste, seguindo pelo norte da Regional Norte até Venda Nova – apresentando em sua maior parte, inclinações superiores à 47% (áreas em vermelho). Logo, são regiões mais propensas a deslizamentos de terra.

Além disso, a inclinação do terreno também pode afetar o escoamento da água, aumentando o risco de inundações e alagamentos em áreas mais baixas, que acabam recebendo grandes volumes advindos de regiões de maior altitude.

A declividade interfere diretamente na velocidade das águas que se acumulam nas ruas, becos e canais. Se, por um lado, as áreas de baixo relevo são propícias à

acumulação da água da chuva, por outro, as encostas acabam submetidas aos movimentos de massa associados à ação da gravidade. (Soares; Azevedo; Nunes, 2019, p. 366).

### 3.2.3. Precipitação e eventos climáticos extremos

Conforme citado anteriormente, Belo Horizonte está sujeita a eventos climáticos extremos, como chuvas intensas e prolongadas, especialmente durante a estação chuvosa, que geralmente ocorrem no verão. “A maioria dos eventos ocorreram nos meses de dezembro e janeiro, época de verão no Hemisfério Sul. Esses meses são marcados por fortes chuvas no município” (Soares; Azevedo; Nunes, 2019, p. 366). A Tabela 1 mostra os índices de precipitação acumulados ao longo dos anos 2022, 2023, 2024 e início de 2025, e a comparação com a média histórica de 30 anos.

Tabela 1 – Precipitação total mensal acumulada de 2022 a 2025 e média histórica em Belo Horizonte, em milímetros (mm)

Mês	Precipitação	Precipitação	Precipitação	Precipitação	Média
	Total	Total	Total	Total	Histórica
	Acumulada	Acumulada	Acumulada	Acumulada	(1991- 2020)
	<b>2022</b>	<b>2023</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2020)</b>
Janeiro	528,2	460,8	345,5	345,6	330,9
Fevereiro	368,9	116,3	232,6	76,4	177,7
Março	9,0	106,2	274,4	134,3	197,5
Abril	43,9	104,9	107,0	111,3	82,3
Mai	57,3	0,4	0,0	-	28,1
Junho	0,0	4,0	0,0	-	11,4
Julho	0,0	1,4	0,0	-	5,4
Agosto	4,0	31,0	-	-	10,6
Setembro	49,2	15,8	-	-	49,2
Outubro	190,6	164,9	289,0	-	110,1
Novembro	269,6	113,9	215,1	-	236,0
Dezembro	427,8	158,3	410,1	-	339,1

Fonte: Elaborado pelo autor (2024-2025), a partir de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022-2025)

Como se pode notar nos dados apresentados, os meses de dezembro e janeiro, que marcam o início do verão, registraram os maiores índices de precipitação, com um gradativo aumento a partir de outubro, estendendo estes altos índices também a fevereiro e março – dados que podem ser melhor observados na média histórica. Devido a estes altos registros pluviométricos, eventos climáticos extremos como temporais se tornaram tão comuns no município, que desastres relacionados a estes fenômenos são “normalizados”, conforme pode ser visto na chamada da notícia a seguir (Figura 7).

Figura 7 – Temporal ocorrido em BH em janeiro de 2024



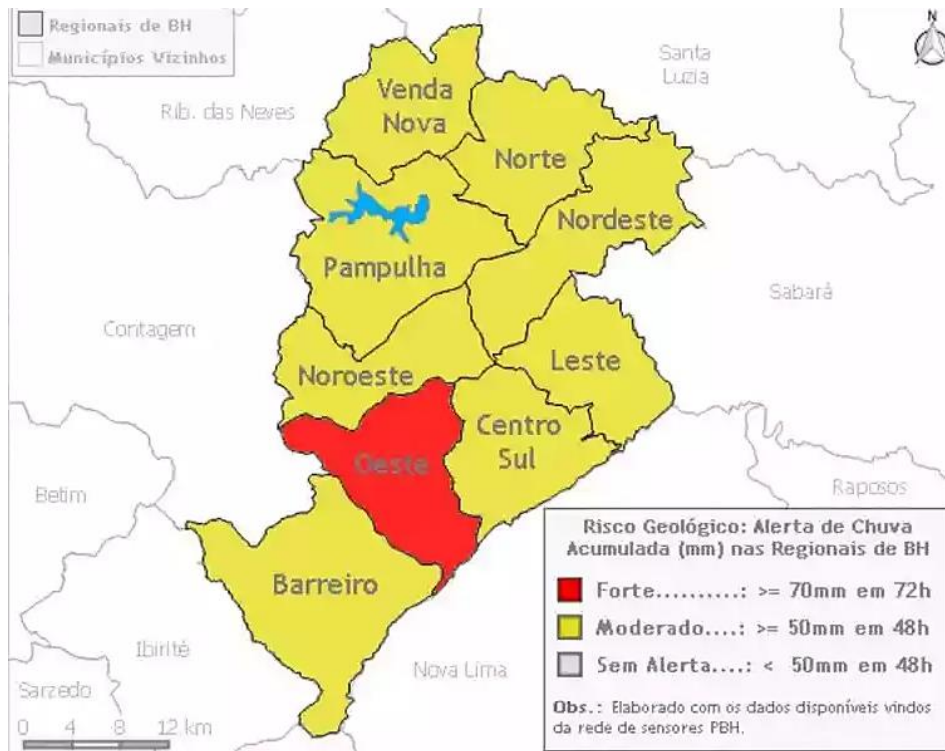
Fonte: Sousa; Sousa (Folha de São Paulo, 2024).

Essas intensas chuvas, além de causarem diversos estragos, podem sobrecarregar o sistema de drenagem municipal e aumentar o risco de inundações e alagamentos, principalmente em áreas vulneráveis.

Ainda, outro risco associado a estes eventos climáticos extremos é o de deslizamentos de terra. Quando a precipitação é muito intensa, o solo satura rapidamente, isto é, tem todos os espaços vazios entre as partículas preenchidos com água, até o ponto em que não pode mais absorvê-la, atingindo sua capacidade máxima de retenção. Depois de saturado, qualquer água se acumulará na superfície ou escoará, dependendo da inclinação do terreno.

A saturação do solo reduz a sua coesão, que é a força que o mantém unido e estável. Essa situação é significativamente perigosa em áreas com alta declividade e falta de cobertura vegetal, pois o torna mais propenso a deslizar (Guitarrara, 2022). Além disso, a água que se infiltra aumenta a pressão nos vazios entre as partículas (poropressão), fragilizando ainda mais sua estrutura. Relacionada a este fenômeno, a Figura 8 mostra um alerta para deslizamentos de terra, ocasionados pela chuva em BH, em maio de 2022.

Figura 8 – Risco Geológico: alerta para deslizamentos de terra ocasionados pela chuva acumulada em maio de 2022



Fonte: Defesa Civil de Belo Horizonte (Reprodução: Estado de Minas Gerais, 2022)

### 3.2.4. Sistema de drenagem

Belo Horizonte possui um extenso sistema de drenagem, composto por galerias de águas pluviais, córregos, ribeirões, canais, bacias de detenção e retenção e até mesmo jardins de chuva (em alguns bairros) – que compreendem algumas das chamadas medidas estruturais. Segundo a definição do Ministério das Cidades, “as medidas estruturais correspondem a intervenções físicas nas áreas afetadas, em forma de obras de contenção, drenagem, retaludamento, remoção ou mesmo recuperação das encostas com proteção vegetal” (Brasil, 2011). No entanto, em algumas áreas, esse sistema é insuficiente para lidar com chuvas intensas e prolongadas, especialmente pelas características de seu relevo e intensa ocupação urbana: o crescimento rápido e desordenado do município contribuiu para a impermeabilização do solo, reduzindo a capacidade de absorção de água e aumentando o escoamento superficial, o que intensificou os fenômenos de inundações e alagamentos, especialmente em bairros mais baixos e próximos a corpos d'água.

Como apenas as medidas estruturais são insuficientes para resolver os problemas de drenagem, faz-se também necessária a adoção de medidas não estruturais, que são

investimentos em capacitação de pessoal, programas de planejamento e gestão, regulamentações quanto ao parcelamento, uso e ocupação do solo, critérios urbanísticos para as construções – como taxa mínima de permeabilidade, iniciativas de educação ambiental, e sistemas de previsão e alerta de inundações, com o objetivo de mitigar os impactos decorrentes desses desastres (Pinheiro; Santos, 2019, p. 8-9).

Para Lucas *et al.* (2015, p. 25), alguns problemas podem ser resolvidos localmente, através da implantação de medidas estruturais, porém trarão consequências em outras regiões:

O tapamento dos córregos e rios de forma parcial resolve o problema de inundação localmente, mas causa problemas à jusante devido ao aumento de escoamento e/ou à montante em função da ressurgência, muitas vezes ocasionada por estrangulamentos nos córregos canalizados fechados, por excesso de lixo, etc., o que gera alagamentos em áreas não diretamente ligadas aos cursos d'água, mas ao sistema de drenagem formado pelas galerias de água pluvial.

Continuando suas observações, Lucas *et al.* (2015, p. 25) ainda pontuam os locais de maior vulnerabilidade:

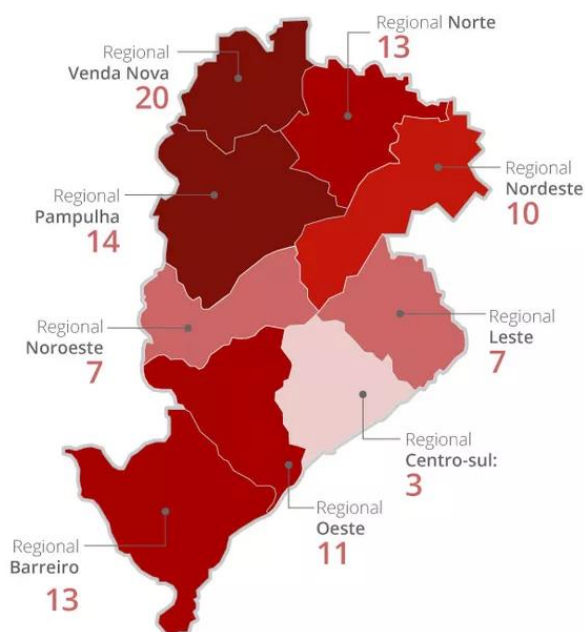
A Regional Pampulha, onde se encontram grandes equipamentos urbanísticos e turísticos da cidade, tem uma rede de drenagem densa com muitos trechos canalizados e outros abertos, o que gera uma série de impactos hidrometeorológicos pontuais e à jusante do Córrego do Onça. Esta Regional requer normatizações de uso e ocupação mais rígidas e políticas públicas bem definidas para diminuir a vulnerabilidade ambiental da população em geral, o que demonstra a necessidade de planejamento de uso do solo e sistema de drenagem integrado que considere a fragilidade ambiental da área.

Portanto, a gestão do uso do solo e da água deve levar em consideração não apenas a fragilidade e especificidade de cada área, mas também suas repercussões em outras regiões.

O complexo sistema de drenagem e ocupação dos leitos dos córregos da Regional Pampulha desencadeia impactos na Regional Nordeste, particularmente no Bairro Ribeiro de Abreu, que requer políticas públicas urbanísticas e sociais devido ao tipo de ocupação precária da área e, comumente, registra um elevado número de ocorrências de inundações. O mesmo ocorre com o intenso uso do solo e ocupação da Regional Venda Nova, verificada pelos altos valores da densidade demográfica, e os impactos à população ribeirinha da Regional Norte (Lucas *et al.*, 2015, p. 25).

A Figura 9 apresenta o mapa de inundações ocorridas em BH no ano de 2019, com destaque para as Regionais Venda Nova, Pampulha e Norte, com o maior número de pontos registrados.

Figura 9 – Carta de inundações de Belo Horizonte, com número de pontos de alagamento registrados em 2019



Fonte: G1 Minas Gerais; Prefeitura de Belo Horizonte (2019).

### 3.3. Os jardins de chuva como soluções baseadas na natureza para mitigação dos problemas de drenagem urbana

#### 3.3.1. Conceitos iniciais, estrutura e implantação

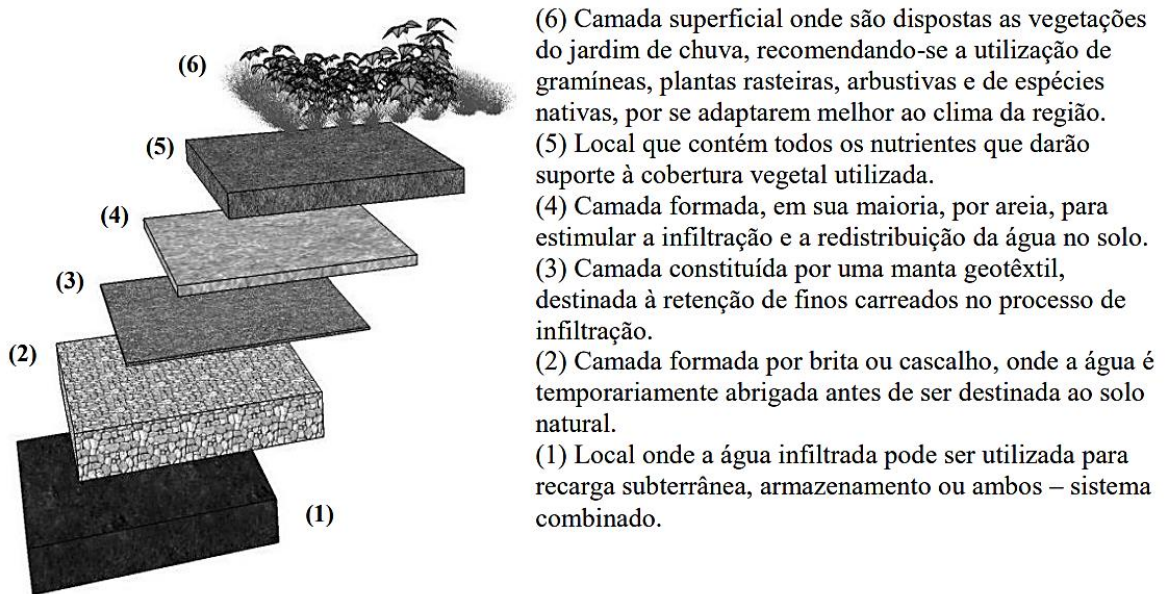
Os Jardins de Chuva, também conhecidos como jardins pluviais ou jardins de biorretenção, são áreas paisagísticas projetadas para reter e infiltrar a água da chuva no solo – reduzindo o escoamento superficial, contribuindo na mitigação de inundações, e ainda promovendo a biodiversidade local e reabastecimento do lençol freático. Geralmente, são instalados em áreas onde há grande escoamento superficial e muitas áreas impermeabilizadas, como ao lado de calçadas, ruas, telhados e estacionamentos, e podem ser adaptados para diferentes tamanhos e formas, dependendo do espaço disponível e da quantidade de água da chuva a ser gerenciada (Noletto; Rodrigues, 2024, p. 7). Ainda, segundo Melo *et al.* (2014, p. 148), “sua função de retenção é projetada para captar, reter, retardar e minimizar ou evitar os impactos advindos do escoamento superficial. Nessa etapa as águas são conservadas sobre sua superfície e depois se infiltram ou evaporam”.

Na definição de Reis e Ilha (2014, p. 81):

São, em geral, compostos de áreas permeáveis rebaixadas em relação ao nível natural do terreno, com plantas e/ou preenchidas com material granular, as quais recebem a descarga do volume de água de chuva precipitada sobre uma área impermeável. Essas áreas podem receber drenos transversais, para facilitar a infiltração do volume de água precipitado. Esse sistema pode reduzir em até 88% o volume médio anual de escoamento superficial.

A Figura 10 apresenta a estrutura básica de um jardim de chuva, explicando cada camada e sua funcionalidade.

Figura 10 – Estrutura básica de um jardim de chuva



- (6) Camada superficial onde são dispostas as vegetações do jardim de chuva, recomendando-se a utilização de gramíneas, plantas rasteiras, arbustivas e de espécies nativas, por se adaptarem melhor ao clima da região.
- (5) Local que contém todos os nutrientes que darão suporte à cobertura vegetal utilizada.
- (4) Camada formada, em sua maioria, por areia, para estimular a infiltração e a redistribuição da água no solo.
- (3) Camada constituída por uma manta geotêxtil, destinada à retenção de finos carreados no processo de infiltração.
- (2) Camada formada por brita ou cascalho, onde a água é temporariamente abrigada antes de ser destinada ao solo natural.
- (1) Local onde a água infiltrada pode ser utilizada para recarga subterrânea, armazenamento ou ambos – sistema combinado.

Fonte: Melo *et al.* (2014)

Conforme é possível observar na figura, o jardim de chuva não se trata de um jardim comum, mas sim de uma estrutura composta de diferentes camadas, especialmente projetadas para fins de drenagem e infiltração das águas pluviais. Segundo a Prefeitura de Belo Horizonte (2024):

Apesar de parecerem um jardim convencional, na construção dos jardins de chuva, o solo é escavado com determinada profundidade e modificado com camadas de revestimento (manta geotêxtil), armazenamento (reservatório de pedras), filtragem (manta geotêxtil e areia), substrato (camada com solo e nutrientes para a vegetação) e cobertura vegetal visando ampliar sua porosidade e, conseqüentemente, sua capacidade de reter e infiltrar a água do subsolo.

Quanto às camadas, não existem critérios nem normas técnicas que determinem a profundidade específica, sendo adotadas, usualmente, profundidades entre 1,00 e 1,50 m, podendo chegar a 3,20 m, de acordo com as informações obtidas nas literaturas pesquisadas. Considerando o trabalho de Melo *et al.* (2014, p. 154), que fornece medidas mais precisas de cada uma das camadas apresentadas na Figura 10, estas são divididas em cinco, e incluem (de baixo para cima):

- Areia: 10 cm, utilizada como um filtro natural e camada drenante, pela maior quantidade de macroporos, favorecendo a percolação;
- Brita: 70 cm, que armazena temporariamente a água infiltrada e também favorece a percolação;
- Manta geotêxtil: uma fina membrana para filtração das partículas mais finas de solo, de espessura desprezível;
- Substrato: 10 cm, sendo uma terra rica em húmus e nutrientes, que atuam na nutrição da vegetação do jardim. Seu topo fica a 10 cm abaixo do nível do solo (borda livre), retendo uma lâmina d'água para ser infiltrada posteriormente. Esta camada também é chamada de “charco” em outras literaturas;
- Cobertura vegetal: é a camada mais superficial, onde a água fica inicialmente retida, plantada diretamente sobre o substrato. Devido à baixa espessura da camada de substrato, a cobertura vegetal utilizada no trabalho em questão é apenas de vegetação rasteira, como gramíneas.

Somando-se as alturas de cada camada (areia, brita e substrato), mais a borda livre (diferença de nível entre o solo e o substrato), obtém-se a profundidade de 1,00 m.

Para melhor compreensão de como apresenta-se o dispositivo depois de implementado e visualização deste no espaço urbano, são apresentadas as Figuras 11, 12 e 13, que mostram a implantação de jardins de chuva em São Paulo e Belo Horizonte.

Figura 11 – Jardim de chuva implantado em São Paulo/SP



Fonte: Prefeitura de São Paulo (2023)

Figura 12 – Jardim de chuva implantado em Belo Horizonte, através do “Programa Adote um Jardim de Chuva”



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2023)

Figura 13 – Jardim de chuva implantado em Belo Horizonte, através do “Programa Adote um Jardim de Chuva”



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2024)

Segundo informações da própria Prefeitura, com última atualização em maio de 2025, o município de Belo Horizonte, localidade objeto deste estudo, já implantou 64 jardins de chuva, sendo 61 em vias públicas e 3 em parques e praças, através do “Programa Adote um Jardim de Chuva”, onde é feita uma parceria com moradores de regiões próximas ao local de implantação, para que os mesmos realizem o monitoramento e manutenção do dispositivo, através de incentivos por parte do Poder Público.

Já São Paulo, capital, conta com 313 destes dispositivos, segundo a última atualização feita pela Prefeitura do município, em 2023. Ainda, em outra notícia sobre a implantação dos jardins de chuva, o governo municipal traz a seguinte consideração:

O jardim de chuva absorve 30% mais a água que o jardim tradicional, o que favorece o escoamento mais rápido e eficiente, além de alimentar os aquíferos. Ele é feito em uma área escavada com cerca de 1,20 m de profundidade e, inicialmente, preenchida com entulho reciclado/rachão. Sobre esse material poroso, é recolocada a terra com composto orgânico produzido pelos pátios de compostagem. Em cima disso, são colocadas as plantas de pequeno ou médio porte (Prefeitura de São Paulo, 2022).

A integração dos jardins de chuva à infraestrutura urbana traz várias vantagens do ponto de vista técnico. A primeira, e mais importante para a presente pesquisa, é a redução do volume de escoamento superficial, que alivia os sistemas de drenagem convencionais, como

galerias pluviais e bueiros, que por vezes ficam sobrecarregados e extravasam para as vias públicas, diminuindo assim a frequência e a intensidade das enchentes e alagamentos.

A implementação eficaz de jardins de chuva em áreas urbanas requer uma abordagem interdisciplinar, combinando conhecimentos de engenharia, hidrologia, paisagismo e meio ambiente, uma vez que diversos fatores precisam ser analisados, como a escolha adequada dos locais para instalação, o dimensionamento correto (área e profundidade das camadas) e a seleção de plantas nativas e adaptadas, que consigam sobreviver tanto ao excesso de chuvas, quanto em épocas de estiagem. Também se faz necessária a manutenção regular, com a remoção de sedimentos acumulados e a substituição de plantas ou estruturas danificadas.

Os jardins de chuva são dispositivos ideais para serem implantados em áreas residenciais, especialmente nos quintais, para capturar e gerenciar volumes de água provenientes de calçadas e telhados. Geralmente, são projetados para pequenas áreas, adotando-se um critério mínimo de dimensionamento que corresponde a 5% da área da superfície impermeável adjacente (Melo *et al.*, 2014, p. 148).

### ***3.3.2. Parâmetros técnicos de eficiência de drenagem dos jardins de chuva***

Determinar a eficiência hidrológica dos jardins de chuva é uma atividade que envolve considerável grau de complexidade, uma vez que depende de vários fatores, como índice de precipitação, área de contribuição, área do jardim, profundidade, tipo de solo, porosidade, taxa de infiltração, grau de compactação, evapotranspiração, condições climáticas, técnicas de execução, dentre vários outros, onde qualquer desvio pode alterar os resultados. Além disso, por ser um tema relativamente novo, são poucos os dados empíricos e estudos realizados acerca do dispositivo, principalmente quanto ao monitoramento a longo prazo.

Percebe-se ausência de trabalhos empíricos que busquem analisar e comparar de maneira mais técnica e resultados da implantação de jardins de chuva ou até mesmo a viabilidade, quantidade e distribuição de jardins de chuva pelo Brasil ou em localidades menores. O que se tem de disponível são alguns poucos trabalhos caracterizados como estudo de caso para localidades pequenas ou para projetos de instalação de jardins de chuva (Lopes; Marques; Silva, 2021, p. 9).

No entanto, mesmo com poucos dados numéricos disponíveis sobre os jardins de chuva, a presente pesquisa, com a utilização dos índices físicos do solo, e conhecimentos de hidrologia e drenagem, é possível fazer estimativas bastante precisas sobre a eficiência destes mecanismos.

Um dos mais importantes índices físicos que influencia a absorção de água pelos jardins de chuva é a porosidade, tanto do solo encontrado na área adjacente ao local de implantação, quanto dos materiais utilizados nas camadas drenantes (areia e brita), mostradas anteriormente na Figura 10. Tal índice é calculado pela razão entre o volume de vazios e o volume total da amostra do material, conforme a Equação 1.

Equação 1

$$\eta = \frac{V_v}{V_t}$$

Onde  $\eta$  é a porosidade,  $V_v$  é o volume de vazios e  $V_t$  é o volume total da amostra.

As Tabelas 2, 3 e 4 mostram os valores usuais de porosidade de vários materiais, encontrados em diversas literaturas. Destaca-se o trabalho feito por Andrade e Stone (2008), em que foi feito um apanhado de várias pesquisas e cujos intervalos de valores de porosidade por material foram reunidos em uma única tabela, a partir de qual foi adaptada a Tabela 3.

Tabela 2 – Porosidade dos principais materiais

<b>Material</b>	<b>Porosidade (%)</b>
Solos	50 – 60
Argila	45 – 55
Silte	40 – 50
Mistura de areia média a grossa	35 – 40
Areia uniforme	30 – 40
Mistura de areia fina a média	30 – 35
Pedregulho	30 – 40
Pedregulho e areia	20 – 35
Arenito	10 – 20
Folhelho	1 – 10
Calcário	1 – 10

Fonte: Santos (2018, adaptado)

Tabela 3 – Porosidade dos solos

Classe textural	Porosidade	
	inferior	superior
Muito argilosa	0,54	0,61
Argilosa	0,51	0,55
Argilosa	0,49	0,59
Argilosa	0,50	0,54
Argilo-arenosa	0,39	0,50
Argilo-arenosa	0,49	0,53
Franco-argilo-arenosa	0,38	0,56
Franco/franco-arenosa	0,40	0,49
Areia-franca/arenosa	0,32	0,47

Fonte: Andrade e Stone (2008, adaptado)

Tabela 4 – Porosidade dos solos

Classe Textural	Porosidade (%)
Argila	52,8 – 61,5
Média	47,2 – 52,8
Areia	32,1 – 47,2

Fonte: Otto (s.d., adaptado)

A granulometria, que se refere à distribuição do tamanho das partículas de um material e está diretamente relacionada à porosidade, é outro fator que influencia significativamente na absorção de água do solo e na permeabilidade das camadas drenantes de areia e brita. Solos com partículas maiores, como a areia, têm poros maiores (macroporos), que permitem que a água percole rapidamente no solo, resultando em uma baixa capacidade de retenção de água. Portanto, solos arenosos têm alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água (Ribeiro *et al.* 2006, p. 1167-1168; EMBRAPA, 2017, p. 91-92).

Já os solos com partículas pequenas, como silte e argila, têm poros menores (microporos), que retêm água de forma mais eficiente, resultando em baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água (Ribeiro *et al.* 2006, p. 1167-1168; EMBRAPA, 2017, p. 91-92).

Por fim, quanto aos parâmetros geotécnicos, outro de fundamental importância a ser pontuado é a Taxa de Infiltração, que pode ser definida como a velocidade com que a água penetra no solo a partir da superfície, expressa geralmente em milímetros por hora (mm/h) (PUC Goiás, s.d., p. 2). A importância deste fator no jardim de chuva está justamente na capacidade do solo de absorver a água retida pelo jardim, infiltrando-a no solo adjacente para que esta percole, uma vez que o jardim não deve funcionar apenas como um reservatório.

Um solo com alta taxa de infiltração permite que o jardim de chuva absorva grandes volumes de água rapidamente, reduzindo o escoamento superficial e prevenindo acúmulos que podem causar eventos hidrológicos adversos. Desta forma, direciona-se a água das chuvas para as camadas mais profundas do solo, promovendo, inclusive, o abastecimento de lençóis freáticos. Esse processo é influenciado por fatores como a textura e estrutura do solo (tal qual a porosidade e granulometria, vistas anteriormente), cobertura vegetal, grau de compactação, umidade pré-existente e inclinação do terreno (PUC Goiás, s.d., p. 2-3).

É interessante observar, quanto à cobertura vegetal e inclinação do terreno, que as raízes da vegetação criam canais que facilitam a penetração da água e solos desprovidos de vegetação tendem a formar crostas superficiais que dificultam a infiltração; e em terrenos planos, a infiltração é favorecida, uma vez que a velocidade do escoamento superficial é menor, enquanto em áreas íngremes, a água tende a escoar em alta velocidade, reduzindo a infiltração (Souza; Sutili, 2013 p. 44).

### ***3.3.3. Relatos de outros autores sobre a eficiência hidrológica dos jardins de chuva***

Na revisão de literatura realizada por Lopes, Marques e Silva (2021, p. 9), estes constataram que “as áreas onde os jardins de chuvas foram construídos possam apresentar redução de escoamento superficial entre 30% a 50%”, percentuais que corroboram com a porosidade de solos argilosos, e das camadas de areia e brita, com valores bastante próximos.

Ainda, em outro trabalho desenvolvido no município de Montes Claros – MG, na região da Praça dos Jatobás, os pesquisadores implantaram e monitoraram um jardim de chuva com área de 1.070,02 m<sup>2</sup> e profundidade de 1,00 metro, e verificaram que este “possui capacidade para receber e armazenar 535,10 m<sup>3</sup>” (Silva; Teixeira; Santos, 2020, p. 5-8). A partir desta informação e considerando que a água penetra nos espaços vazios (poros), utilizando a Equação 1 é possível realizar um simples cálculo para verificar a porosidade deste sistema (solo-brita-areia).

$$\eta = \frac{535,1}{1070,02} = 0,5 = 50\%$$

Mais uma vez, o valor encontrado está dentro do esperado para solos argilosos, que é o tipo encontrado no município objeto do estudo mencionado acima, e do sistema de areia e brita que compõem o jardim de chuva.

Quanto às conclusões de Chaves (2024, p. 103) acerca de seu estudo realizado num jardim de chuva experimental, com área de 4,24 m<sup>2</sup> e profundidade de 1,38 m (sendo, de cima para baixo: 45 cm de borda livre, 45 cm de solo local, 43 cm de brita e 5 cm de areia), implantando no IFCE *campus* Fortaleza, foi observado que o “jardim de chuva apresentou uma eficiência de retenção hídrica média de 97,6% ± 7,8% (45 cm / 1,91 m<sup>3</sup>). A estrutura apresentou uma eficiência de retenção hídrica de 100%, sem a ocorrência de transbordamentos, em 78% dos eventos monitorados”.

Cabe ressaltar que o estudo de Chaves (2024) foi bem mais abrangente, com uma pesquisa de, aproximadamente, dois anos, onde foram avaliados diversos parâmetros que não estiveram presentes em outros trabalhos. Um desses, de suma importância, refere-se à taxa de infiltração de água no solo, em milímetros por hora, de modo que o jardim de chuva não funcione apenas como um reservatório de água, mas sim promova sua infiltração e percolação, aliviando a estrutura ao longo do tempo e permitindo a captação de novos volumes. Além disso, o dispositivo encontrava-se em ambiente controlado, com área de contribuição, coeficiente de escoamento e vazões conhecidas, com pouca interferência de fatores externos ao sistema; e índices de precipitação consideravelmente inferiores aos de Belo Horizonte, distribuídos em intervalos mais longos, de 24 horas. Isso pode explicar a eficiência de 100% e a ocorrência de transbordamento em apenas 22% dos eventos monitorados.

#### 4. METODOLOGIA

A metodologia para este estudo envolveu várias etapas, que foram fundamentais para analisar a hidrologia, drenagem urbana e os riscos hidrológicos em Belo Horizonte. Inicialmente, foi realizada uma revisão abrangente da literatura acerca dos conceitos de hidrologia, drenagem urbana, enchentes, inundações, alagamentos e deslizamentos de terra, considerando estudos anteriores realizados em Belo Horizonte e até mesmo em outras localidades, de modo a direcionar a presente pesquisa. Quanto aos jardins de chuva, por se tratar de um tema relativamente novo, ainda em desenvolvimento e até então desconhecido pelo autor, foi necessário um estudo mais aprofundado, contando inclusive com a parceria de outra instituição de ensino, como será detalhado ao longo desta seção.

Como principais fontes de pesquisa para a revisão de literatura, foram utilizados artigos publicados na biblioteca eletrônica científica *online* – *SciELO*, no *site* *Google Acadêmico*, em revistas científicas *online*, em páginas governamentais e em demais *sites* de informações autênticas da internet. Essa etapa se trata do “processo necessário para que se possa avaliar o que já se produziu sobre o assunto em pauta, situando-se, a partir daí, a contribuição que a pesquisa projetada pode dar ao conhecimento do objeto a ser pesquisado” (Severino, 2014, p. 112).

Ainda nessa etapa de revisão, foi realizada a coleta de dados hidrológicos, meteorológicos e geoespaciais relevantes, sendo a maior parte através de mapas, notícias de jornais, do *site* da Prefeitura de Belo Horizonte, da Defesa Civil e do *site* do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que foram analisados para identificar a ocorrência, histórico e tendências relacionadas à precipitação e riscos hidrológicos, com base nas características topográficas e de uso do solo.

Com base nos resultados e necessidades encontradas, foram avaliadas estratégias e medidas de intervenção para aprimorar a gestão dos recursos hídricos e reduzir os riscos de desastres naturais em Belo Horizonte, mais especificamente valendo-se de soluções baseadas na natureza, como é o caso dos jardins de chuva, que foram amplamente estudados quando ao seu funcionamento, implantação e eficiência. Esta etapa contou com uma parceria entre discentes e docentes do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *campus* Fortaleza – onde a estudante de mestrado e pesquisadora Maria Thereza Rocha Chaves coordenou uma equipe que desenvolveu uma pesquisa sobre o tema, a partir do qual ela elaborou sua dissertação “Jardim de Chuva como Solução Baseada na Natureza em Ambiente Tropical Urbano: Critérios de Design, Desempenho Hidrológico e Adaptabilidade Vegetal”

(2024), apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental –, e do IFMG de Santa Luzia. Essa parceria se deu na forma de reuniões *online*, intermediadas pelo professor orientador, Dr. Daniel Augusto de Miranda, onde a pesquisadora outrora qualificada e sua equipe, composta por estudantes do ensino técnico integrado ao ensino médio, compartilharam informações fundamentais para o direcionamento do atual trabalho, também possibilitando uma grande troca de informações entre todos os participantes a cada reunião, conforme as pesquisas avançavam nas duas instituições.

Depois das primeiras reuniões, foi formada uma equipe de trabalho do IFMG de Santa Luzia, constituída pelo professor orientador e dois dos seus orientandos: o autor da presente pesquisa e um estudante do curso de Engenharia Civil, que desenvolveram pesquisas acerca do mesmo tema, mas com diferentes abordagens, sendo a atual voltada à análise da capacidade e eficiência hidrológica dos jardins de chuva.

Uma importante etapa de trabalho da equipe do IFMG consistiu em visitas de campo aos locais onde os dispositivos já haviam sido implantados pela Prefeitura de Belo Horizonte, no qual foram feitas inspeções visuais, medições e registros fotográficos, produzindo parte do material necessário para a continuidade das análises. Essas informações coletadas foram avaliadas e estratificadas, para serem expostas de maneira clara e objetiva através de figuras, tabelas e quadros, examinando as características físicas, problemas encontrados e possível eficiência dos sistemas para lidar com eventos de chuva intensa. Cabe observar que, devido à grande distância entre sua residência e o município de estudo, o autor não esteve presente nessas visitas, mas teve os dados prontamente disponibilizados pelos demais integrantes da equipe de trabalho que, inclusive, fizeram reuniões *online* para compartilhar os achados, convidando também o grupo do IFCE.

Na sequência, chegando à parte central desta pesquisa, foram realizadas simulações de eventos hidrológicos para avaliar a capacidade de drenagem dos jardins de chuva, tanto de um modelo controlado, quanto dos implantados em Belo Horizonte. Para isso, foi utilizada uma planilha de modelagem no *software Excel*, desenvolvida pela pesquisadora Chaves (2024), que a aplicou em seu estudo mencionado anteriormente. Com a cessão da autora, a referida planilha foi adaptada para a localidade de Belo Horizonte, na Regional Norte, alterando parâmetros relevantes como a intensidade da precipitação (mm/h), a discretização temporal (com intervalos de 10, 30, 45, 60 e 90 minutos), a taxa de infiltração do solo (em mm/h), a área do jardim de chuva (em m<sup>2</sup>), a área de contribuição (em m<sup>2</sup>), a borda livre (H<sub>c</sub>) e o coeficiente de escoamento.

Os dados de entrada acerca da precipitação e discretização foram obtidos por meio da Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem, elaborado pela

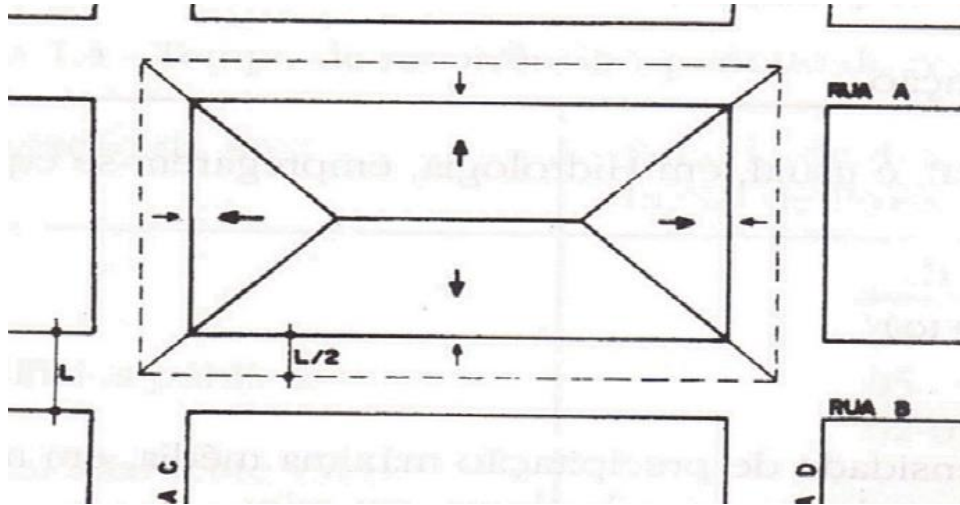
Prefeitura de Belo Horizonte (2022, p. 4-9), que apresenta informações sobre as Curvas IDF (Intensidade, Duração e Frequência) para a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).

Para a taxa de infiltração do solo local, foi adotado o valor de 187,56 mm/h, baseado nos resultados encontrados por Caputo *et al.* (2013, p. 4) em seu trabalho de campo, que envolveu uma análise do solo na Regional Pampulha, onde a localidade que os autores referenciaram como “sítio experimental de infiltração 1” situa-se próximo à do presente estudo, e foi determinada por meio de um ensaio com permeâmetro, em  $5,21 \times 10^{-5}$  m/s, que, convertidos para a unidade mais usual, milímetros por hora, resulta em 187,56 mm/h. Cabe observar que este valor de taxa de infiltração é bastante próximo ao de Chaves (2024, p. 60) para o solo do jardim de chuva implantado em Fortaleza, dentro do *campus* do IFCE, que foi calculado em 176,90 mm/h.

Quanto à área dos jardins de chuva e borda livre (Hc), foram consideradas as informações dos projetos, encontradas no *site* da Prefeitura (Figuras 21 e 22, detalhadas nos Anexos A e B), bem como as medições realizadas durante a visita de campo, isto é, entre 9 e 12 m<sup>2</sup> os de tipologia simples e entre 18 a 20 m<sup>2</sup> os de tipologia dupla – adotando-se, respectivamente, 11 e 20 m<sup>2</sup>.

Para determinar a área de contribuição, foi utilizado o método de divisão das bissetrizes na esquina, que é uma técnica de delimitação de áreas de drenagem que se baseia na ideia de que o escoamento superficial tende a se dividir simetricamente em relação às bissetrizes dos ângulos formados pelo encontro de ruas. Primeiramente, traça-se uma linha imaginária que percorre todo o perímetro da região analisada, no eixo central das ruas (considerando que o escoamento é direcionado metade para cada lado da rua). Na sequência, é feita a marcação das bissetrizes dos ângulos da figura formada, em que o encontro das bissetrizes nos lados de menor comprimento formam dois triângulos e determinam a área de contribuição daquelas regiões. Ligando-se o vértice frontal de cada triângulo, formam-se dois trapézios, que determinam a área de contribuição nos lados de maior comprimento (Mendes, 2014). A Figura 14 exemplifica a execução do método e as respectivas áreas de contribuição demarcadas.

Figura 14 – Exemplo do método de divisão pelas bissetrizes na esquina



Fonte: Mendes (2014)

Para o presente estudo, foram selecionados dois jardins de chuva específicos, por seus bons aspectos construtivos e de manutenção, com vegetação preservada e localização em áreas de declividade moderada. Um deles é de tipologia simples, localizado na Rua Professor Coelho Júnior, nº 265, no Bairro Planalto, que possui área de contribuição igual a 4.066 m<sup>2</sup>. O outro é de tipologia dupla, localizado na Rua Massanielo Santos, nº 173, no Bairro Planalto, e possui área de contribuição igual a 2.577 m<sup>2</sup>. As Figuras 15 a 19 mostram a aplicação do método das bissetrizes nas esquinas aos dois locais qualificados.

Figura 15 – Localização da quadra do jardim de chuva de tipologia simples, com marcação do eixo das ruas (a seta vermelha indica a posição do jardim)



Fonte: Google Earth (2025)

No entanto, observa-se que esta quadra, cujo formato é quase de um trapézio regular, possui um divisor de águas próximo a metade da base maior, que é uma rua que segue rumo ao Parque da Lagoa do Nado. Dessa forma, pode-se considerar as áreas de contribuição apenas da região inferior, que contemplam o jardim de chuva até a esquina com a referida rua, da forma apresentada na Figura 16.

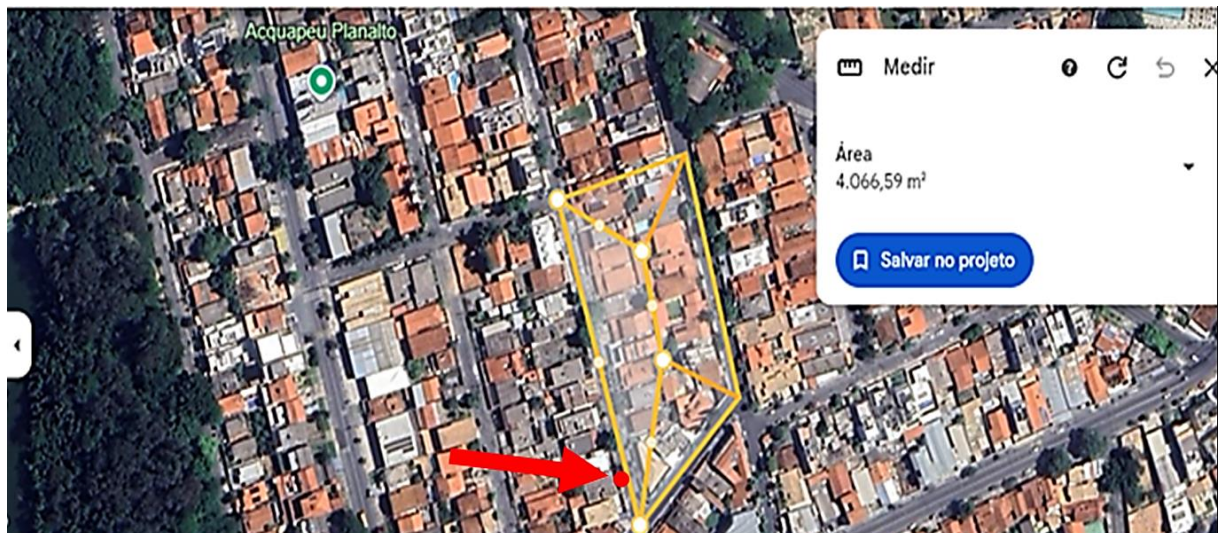
Figura 16 – Fração da quadra que será considerada nas áreas de contribuição



Fonte: Google Earth (2025)

Agora, aplicando-se o método propriamente dito, obtém-se o disposto na Figura 17.

Figura 17 – Aplicação do método das bissetrizes nas esquinas e determinação da área de contribuição do jardim de chuva (trapézio irregular do lado esquerdo)



Fonte: Google Earth (2025)

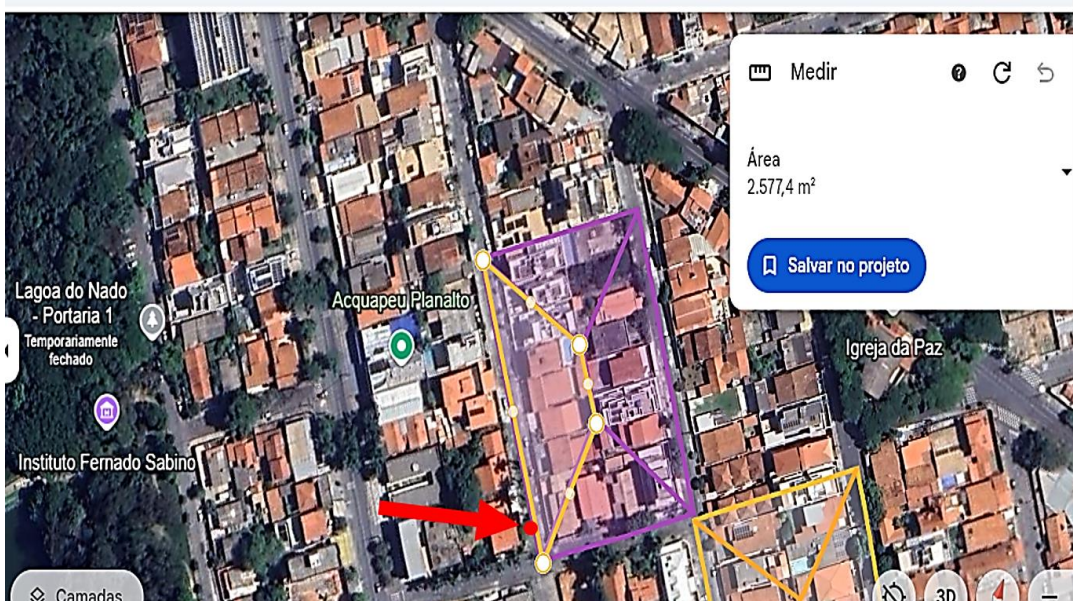
O mesmo processo é repetido para o jardim de tipologia dupla. Porém, na quadra onde está implantado há outro jardim de chuva na extremidade da mesma rua, além de uma boca de lobo, de forma que também foi possível reduzir a área de contribuição. Cabe destacar que este jardim está em uma região vizinha ao primeiro. A Figura 18 mostra a localização do jardim de tipologia dupla analisado, indicado pela seta vermelha, bem como o outro jardim de chuva (também de tipologia dupla) e a boca de lobo adjacente, indicados pela seta azul; e a Figura 19 mostra as áreas de contribuição já divididas, onde a quadra foi dividida na metade da base maior do trapézio, considerando que o escoamento superficial se direciona metade para cada lado.

Figura 18 – Localização da quadra do jardim de chuva de tipologia dupla (em roxo), com marcação do eixo das ruas (as setas indicam a posição dos jardins)



Fonte: Google Earth (2025)

Figura 19 – Aplicação do método das bissetrizes nas esquinas e determinação da área de contribuição do jardim de chuva (trapézio do lado esquerdo, destacado em amarelo)



Fonte: Google Earth (2025)

Os coeficientes de escoamento (ou coeficiente de *run-off*) foram variados com base nos valores do Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2005, p. 128-129), apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Coeficiente de escoamento superficial (*run-off*)

Descrição das áreas das bacias tributárias	Coeficiente de deflúvio “c”
<b>Comércio</b>	
Áreas centrais	0,70 a 0,95
Áreas da periferia do centro	0,50 a 0,70
<b>Residencial</b>	
Áreas de uma única família	0,30 a 0,50
Multiunidades, isoladas	0,40 a 0,60
Multiunidades, ligadas	0,60 a 0,75
Residencial (suburbana)	0,25 a 0,40
Área de apartamentos	0,50 a 0,70
<b>Industrial</b>	
Áreas leves	0,50 a 0,80

Áreas densas	0,60 a 0,90
Parques, cemitérios	0,10 a 0,25
Playgrounds	0,20 a 0,35
Pátio e espaços de serviços de estrada de ferro	0,20 a 0,40
Terrenos baldios	0,10 a 0,30

Fonte: DNIT, 2005, p. 128

Tabela 6 – Coeficiente de escoamento superficial (*run-off*)

<b>Tipo de superfície</b>	<b>Coeficiente de deflúvio “c”</b>
<b>Ruas</b>	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Tijolos	0,70 a 0,85
Trajetos de acesso a calçadas	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
<b>Gramados; solos arenosos</b>	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio, 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
<b>Gramados; solo compacto</b>	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Médio, 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

Fonte: DNIT, 2005, p. 129

Levando em consideração que os dois jardins utilizados como referência para a análise em Belo Horizonte se encontram em área residencial, com algumas praças, parques (inclusive bem próximas ao Parque da Lagoa do Nado), canteiros e áreas permeáveis, pode-se utilizar como valor de referência 0,5, o que indica que metade da precipitação se converte em escoamento superficial.

Variando separadamente e depois fazendo combinações simultâneas dos parâmetros, foi possível analisar a sensibilidade de cada um deles, realizar um diagnóstico dos

jardins implantados na região Norte de BH, e simular os mais diversos eventos hidrológicos para testar qual seria a eficiência do dispositivo em tal situação.

Para uma melhor avaliação dos resultados, estes foram comparados com os achados de outros autores, principalmente com os de Chaves (2024), que serviram de referência principal para esta pesquisa. Nessa etapa, essencial para verificar a consistência dos dados encontrados na atual pesquisa, foram selecionados diversos eventos de chuva monitorados pela citada autora no município de Fortaleza, entre janeiro e maio de 2024, intervalo em que todas as precipitações ocorridas foram registradas.

Tais informações de monitoramento foram extraídas para outra planilha, desenvolvida pelo autor, onde os eventos foram agrupados por data, horário de início e fim, tempo de duração e a precipitação total registrada. A intensidade de precipitação ( $i$ , em mm/min) foi obtida pela razão entre a precipitação total (em mm) pela duração do evento ( $t$ , em min). Em seguida, esse valor foi multiplicado por 60 para converter a unidade de mm/min para mm/h, medida mais usual para eventos de precipitação, conforme a Equação 2.

Equação 2

$$i = \frac{\text{precipitação total}}{t} \times 60$$

Com a intensidade de precipitação calculada e o tempo de duração dos eventos ( $t$ , em minutos) já organizados, foi possível aplicar uma equação de curva IDF, desenvolvida por Silva, Palácio Júnior e Campos (2013, p. 56) para o município de Fortaleza, a fim de determinar o período de retorno ( $T$ , em anos) de cada evento. O cálculo segue a Equação 3.

Equação 3

$$i = \frac{2345,29 \times T^{0,173}}{(t + 28,31)^{0,904}}$$

Para analisar a sensibilidade de cada parâmetro individualmente, isto é, o quanto cada variação influencia diretamente na eficiência do jardim de chuva, foi escolhido o cenário que possui tempo de retorno de 10 anos ( $TR = 10$  anos) e duração de chuva de 120 minutos, pois, além de ser referência na elaboração de projetos de microdrenagem, também foi o que mais se assemelhou com um dos eventos monitorado por Chaves (2024) em Fortaleza/CE (calculado pela Equação 3), e foi utilizado para fins de comparação. Os parâmetros variados

individualmente foram a intensidade de precipitação (com sua discretização temporal), a taxa de infiltração, a área do jardim de chuva, a área de contribuição, a altura da borda livre ( $H_c$ ) e o coeficiente de escoamento.

Na sequência, após análise de sensibilidade de parâmetro por parâmetro dentre os citados no parágrafo anterior, todos os parâmetros foram alterados simultaneamente, a fim de realizar um diagnóstico da situação real em Belo Horizonte, isto é, que melhor se assemelha à condição real encontrada na Regional Norte, área de estudo considerada. Os dados da análise de sensibilidade e do diagnóstico são exibidos, respectivamente, nas Tabelas 7 e 8 da seção de resultados.

Com a inserção dos dados sobre a realidade local, pode-se obter o Volume de Entrada Total (VE), o Volume Extravasado ( $V_{ext}$ ) e, conseqüentemente, o principal resultado buscado nessa pesquisa: a eficiência hidrológica (%) dos jardins de chuva. O cálculo da eficiência é mostrado na Equação 4, e os resultados encontrados foram arredondados para o número inteiro mais próximo.

Equação 4

$$Eficiência\ hidrológica\ (\%) = \frac{VE - V_{ext}}{VE} \times 100\%$$

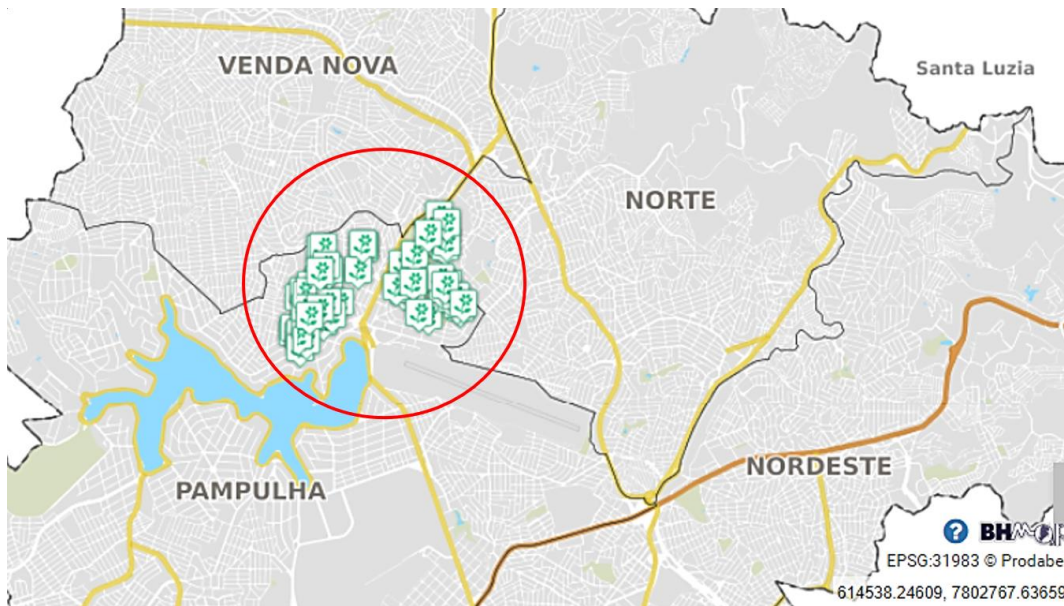
Na subseção seguinte, será apresentada mais detalhadamente a localidade objeto de estudo.

#### **4.1. Caracterização da área de estudo e dos jardins de chuva já implantados em diversos bairros de Belo Horizonte**

Segundo a Prefeitura de Belo Horizonte, em sua última atualização feita em julho de 2024, o município conta com 64 jardins de chuva, sendo um na Praça JK, um na Praça José de Magalhães, um no Parque Lagoa do Nado e os demais espalhados por vários bairros da Regional Pampulha e parte da Regional Norte, na Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego do Nado, afluente do Córrego Vilarinho.

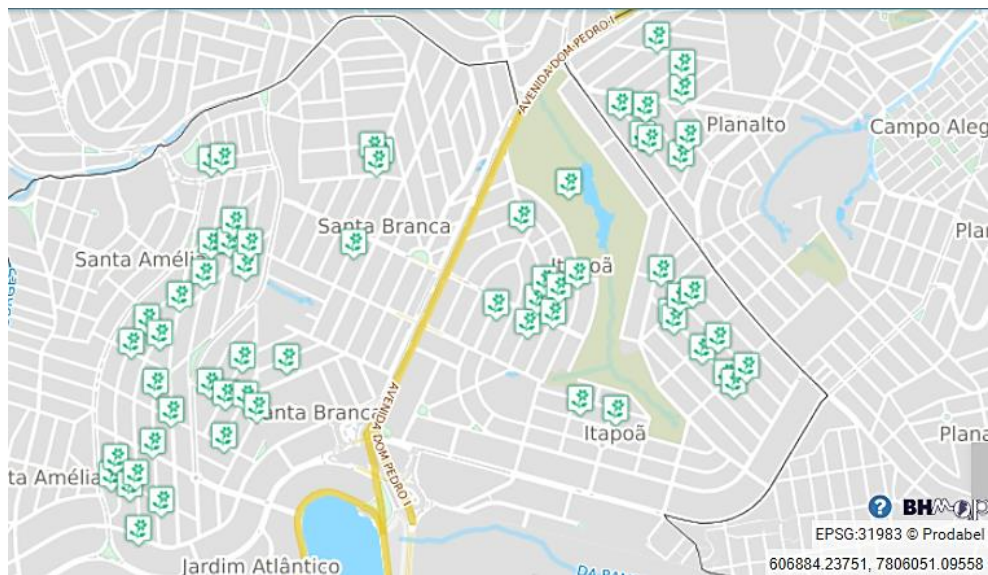
Estes jardins estão localizados nos bairros Santa Amélia, Santa Branca, Itapoã e Planalto. A concentração da implantação dos jardins de chuva nesses bairros tem por objetivo ampliar o efeito de mitigação dos alagamentos nas áreas mais baixas desta importante sub-bacia hidrográfica, que já vem recebendo investimentos em infraestrutura de macrodrenagem há alguns anos (Belo Horizonte, 2024).

Figura 20 – Localização dos jardins de chuva no município de Belo Horizonte (circulados em vermelho)



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2024, adaptado)

Figura 21 – Localização dos jardins de chuva no município de Belo Horizonte (vista aproximada, mostrando os bairros)



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2024)

Nas Figuras 20 e 21, é possível observar a distribuição dos jardins de chuva pelos Bairros Santa Amélia, Santa Branca, Itapoã e Planalto. A seguir, a Figura 22 mostra de perto um desses jardins implantados no Bairro Santa Amélia.

Figura 22 – Jardim de chuva implantado no ano de 2023 na Rua Cel. Emílio Martins, próximo ao número 233, no Bairro Santa Amélia



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2024)

Os jardins de chuva são instalados em áreas públicas, junto ao meio-fio, e ocupam uma ou duas vagas de estacionamento, sem prejudicar o trânsito local. Para determinar o local de implantação desses jardins, são realizados estudos técnicos que consideram fatores como a inclinação do terreno (preferencialmente em áreas mais planas), a distância de vales e locais suscetíveis a alagamentos, dentre outros. Para promover o projeto e engajar a população, todos os 61 jardins de chuva em áreas públicas podem ser adotados por residentes próximos através do “Programa Adote um Jardim de Chuva”, que oferece descontos de até 10% no IPTU para os imóveis participantes (Belo Horizonte, 2024).

O Programa Adote um Jardim de Chuva é uma parceria do poder público com os cidadãos, no qual cada jardim de chuva poderá ser adotado por um proprietário de imóvel, que deverá se situar no mesmo trecho de logradouro público da área adotada e ser identificado por meio de seu índice cadastral no termo de adesão ao programa. Como contrapartida pela iniciativa de ajudar a cuidar de um espaço verde da cidade, será concedido desconto de Imposto Predial e Territorial Urbano - IPTU para o adotante. Cada imóvel poderá adotar um jardim de chuva, fazendo jus à concessão de desconto de até 10% do valor anual do IPTU, limitado a R\$2.000,00. Além do benefício do desconto no IPTU há também o benefício de ajudar a construir uma cidade agradável, bonita e mais adaptada às mudanças climáticas que tantos impactos tem causado nas cidades em todo o mundo (Belo Horizonte, 2024).

Quanto ao projeto dos dispositivos, estes possuem formato trapezoidal, com a base maior do trapézio anexa ao meio-fio, e possuem duas tipologias arquitetônicas: simples, com um módulo de jardim; e dupla, com dois módulos de jardim interligados (Belo Horizonte, 2022,

p. 6). Em uma visita de campo, feita pela equipe de trabalho do IFMG de Santa Luzia, onde foram analisados 19 dispositivos, observou-se que cada módulo de tipologia simples possui área que varia entre 9 e 12 m<sup>2</sup>, e cada módulo duplo possui área que varia entre 9 e 10 m<sup>2</sup> (o que resulta em dispositivos de 18 a 20 m<sup>2</sup>). As Figuras 23, 24 e 25 mostram os jardins de tipologia simples e dupla.

Figura 23 – Jardim de tipologia simples (R. Moura Costa, 81, Planalto, Belo Horizonte, MG)



Fonte: Acervo da equipe do IFMG (2024)

Figura 24 – Jardim de tipologia dupla (R. Professor Massanielo Santos, 173, Planalto, Belo Horizonte, MG)



Fonte: Acervo da equipe do IFMG (2024)

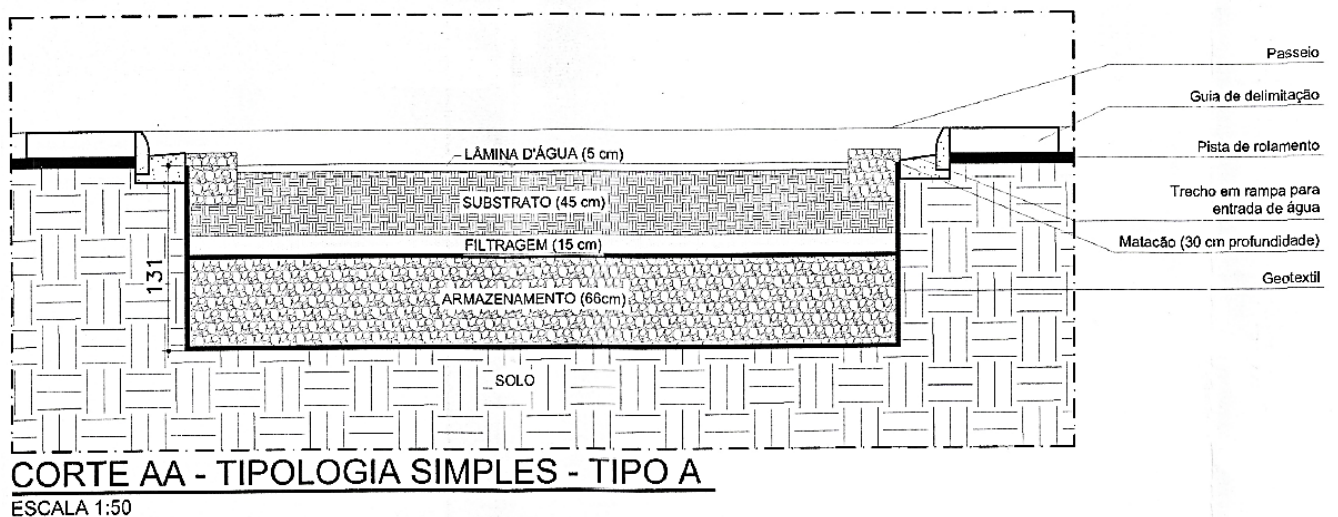
Figura 25 – Jardim de tipologia dupla, vista frontal (R. Professor Massanielo Santos, 173, Planalto, Belo Horizonte, MG)



Fonte: Acervo da equipe do IFMG (2024)

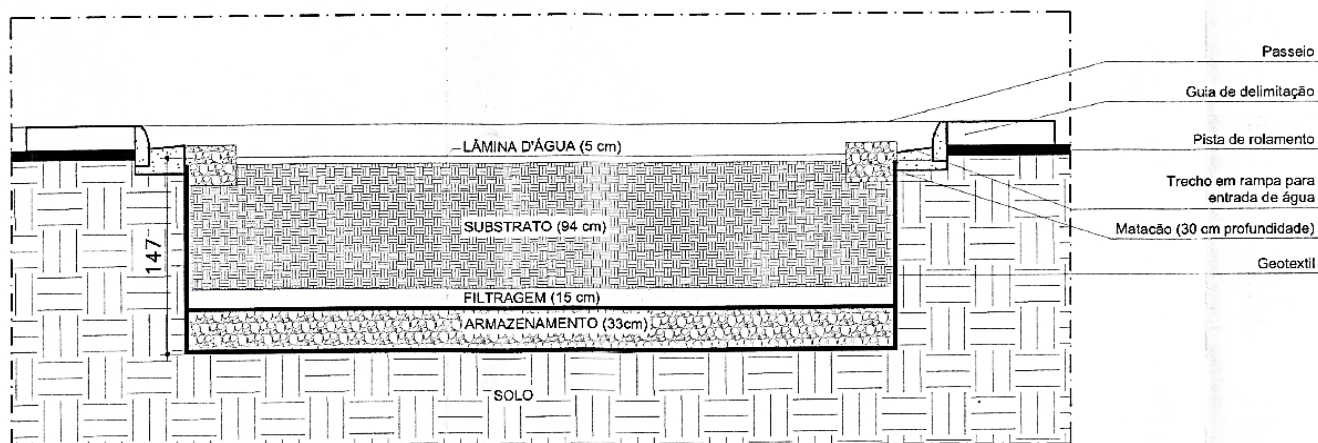
Eles também são divididos em Tipo A e Tipo B, de acordo com a profundidade das camadas, conforme pode ser observado nas Figuras 26 e 27 (Belo Horizonte, 2022, p. 6).

Figura 26 – Corte longitudinal de um jardim de tipologia simples do Tipo A



Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2022)

Figura 27 – Corte longitudinal de um jardim de tipologia simples do Tipo B

**CORTE AA - TIPOLOGIA SIMPLES - TIPO B**

ESCALA 1:50

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2022)

Nas figuras, é possível observar que a principal diferença entre o Tipo A e Tipo B é a profundidade do dispositivo, com considerável variação da altura das camadas de substrato (ou charco) e armazenamento (areia), conforme detalhado na Tabela 5 da seção seguinte.

Por fim, quanto às espécies vegetais implantadas nos jardins, a Prefeitura de Belo Horizonte (2022, p. 9) informa que estas foram selecionadas a partir de “suas características de adaptação às condições típicas de um jardim de chuva”, sendo considerados também critérios como ciclo de vida longo e porte pequeno a médio (até 1,20 metros). A relação de espécies foi dividida em cinco grupos, de acordo com o porte, floração, coloração e insolação, e são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Espécies vegetais implantadas nos jardins de chuva em Belo Horizonte

<b>Grupo</b>	<b>Espécie (nome popular)</b>	<b>Espécie (nome científico)</b>
Grupo 1: espécies de porte médio que possuem a função de barreira	Dionela	<i>Dianella ensifolia</i>
	Aspargo	<i>Asparagus densiflorus</i>
	Lança de São Jorge	<i>Sansevieria cylindrica</i>
	Espada de São Jorge Prateada	<i>Sansevieria moonshine</i>
	Espada de São Jorge	<i>Sansevieria trifasciata</i>
	Abacaxi roxo	<i>Tradescantia spathacea</i>
	Moreia	<i>Dietes bicolor</i>
Grupo 2: espécies de coloração em tons de vinho/roxo	Penicilina	<i>Alternanthera brasiliana</i>
	Trapoeraba roxa	<i>Tradescantia pallida</i>
	Lambari roxo	<i>Tradescantia zebrina</i>

<b>Grupo</b>	<b>Espécie (nome popular)</b>	<b>Espécie (nome científico)</b>
Grupo 3: espécies de porte médio que possuem flores	Agapanto	<i>Agapanthus africanus</i>
	Mostarda-castanha	<i>Brassica juncea</i>
	Coreópsis	<i>Coreopsis lanceolata</i>
	Lírio-de-um-dia Lírio amarelo	<i>Hemerocallis fulva</i>
	Lírio aranha-da-praia	<i>Hymenocallis littoralis</i>
	Flor-leopardo	<i>Iris domestica</i>
	Margarida-gigante	<i>Leucanthemum maximum</i>
	Petúnia mexicana	<i>Ruellia simplex</i>
	Falso-íris	<i>Neomarica caerulea</i>
Grupo 4: espécies de porte baixo, rasteiras ou de forração	Orelha-de-rato	<i>Dichondra microcalyx</i>
	Festuca	<i>Festuca longifolia</i>
	Barba-de-serpente	<i>Ophiopogon jaburan</i>
	Arnica-do-mato	<i>Wedelia paludosa</i>
Grupo 5: espécies para áreas sombreadas ou com pouca insolação	Maranta	<i>Ctenanthe setosa</i>
	Capim-palmeira	<i>Curculigo capitulata</i>
	Lírio-da-paz gigante	<i>Spathiphyllum cannifolium</i>
	Lírio-da-paz	<i>Spathiphyllum wallisii</i>
	Singônio	<i>Syngonium angustatum</i>

Fonte: Adaptado de Prefeitura de Belo Horizonte (2022 e 2024)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Considerações sobre a visita de campo

Após a visita de campo realizada pela equipe de trabalho do IFMG, os resultados das inspeções visuais, medições e registros fotográficos são apresentados a seguir. Primeiramente, para melhor comparação das informações apresentadas nos cortes longitudinais dos projetos e tipologias dos jardins de chuva de Belo Horizonte (Figuras 26 e 27), foi elaborada a Tabela 7.

Tabela 7 – Comparação entre as camadas e a profundidade dos jardins de tipologia simples do Tipo A e Tipo B

Tipologia do Jardim de Chuva	Altura de cada camada (em centímetros)				Profundidade Total
	Armazenamento	Filtragem	Substrato	Lâmina d'água	
Simples – Tipo A	66	15	45	5	131
Simples – Tipo B	33	15	94	5	147

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Estas variações de profundidade e altura das camadas também podem ser observadas nos jardins de tipologia dupla, e seguem o mesmo padrão de camadas dos de tipologia simples. Maiores detalhes podem ser verificados nos Anexos A e B, que mostram as plantas, cortes e perfis das duas tipologias.

No entanto, mesmo com tantos manuais, projetos e informações técnicas, alguns achados das visitas de campo suscitam dúvidas quanto à real eficácia de alguns dos jardins de chuva implantados em Belo Horizonte, que foram analisados neste estudo, uma vez que se encontram em mau estado de conservação, em ruas com declividade muito acentuadas ou em ruas sem sarjetas, que não direcionam o escoamento de água para o dispositivo. O Quadro 2 agrupa os problemas encontrados em três categorias e traz maiores detalhes.

Quadro 2 – Principais problemas encontrados nos jardins de chuva implantados em Belo Horizonte, durante a visita de campo

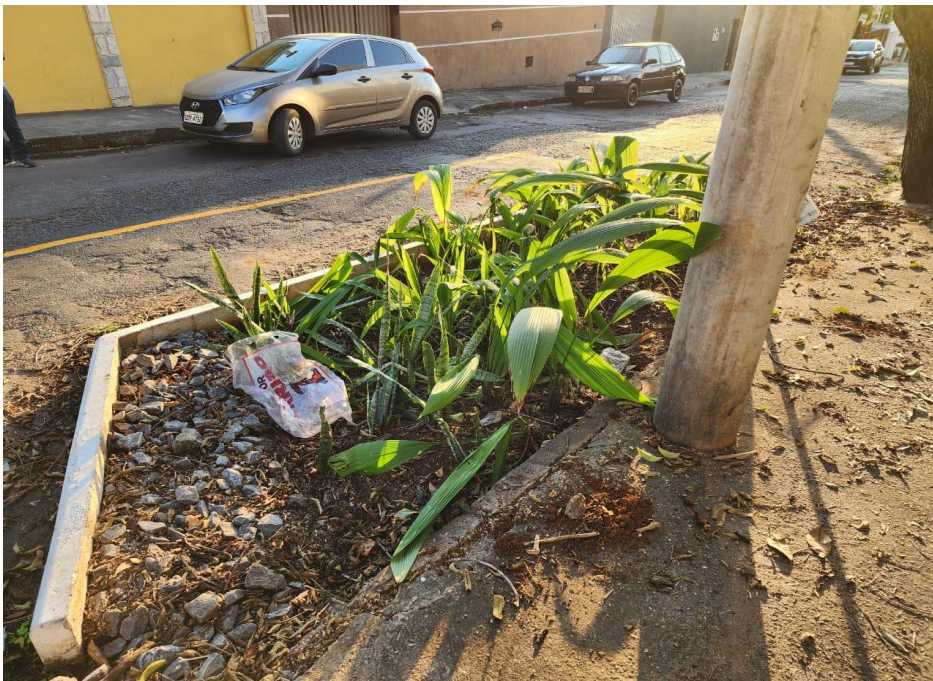
Problema encontrado	Descrição detalhada
Mau estado de conservação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Acúmulo de resíduos sólidos e matéria orgânica:</b> o jardim de chuva pode perder sua eficácia se houver acúmulo de resíduos sólidos e matéria orgânica, causando obstrução nas entradas e saída, proliferação de mosquitos e até contaminação do solo e da água. Os resíduos também impedem a infiltração, transformando o jardim em um reservatório de água parada, o que favorece a criação de vetores de doenças como o <i>Aedes aegypti</i> (mosquito da Dengue). Para manter a eficiência do jardim de chuva, é essencial realizar limpezas periódicas para remover resíduos e garantir o funcionamento adequado do sistema.</li> <li>• <b>Perda da vegetação:</b> a perda da vegetação em um jardim de chuva compromete sua função de reter e infiltrar águas pluviais, que não apenas ajudam a filtrar poluentes, mas também desempenham um papel fundamental na absorção da água. As raízes das plantas criam canais que facilitam essa penetração. Sem a vegetação, o solo fica exposto, o que pode levar à erosão, transporte de sedimentos, reduzir a infiltração e aumentar o escoamento superficial. Isso não apenas prejudica a eficácia do sistema, como também pode contribuir para alagamentos e lama nas áreas circundantes.</li> </ul>
Ruas com declividade muito acentuadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Em ruas com declividade acentuada, a eficácia dos jardins de chuva fica comprometida, devido ao rápido escoamento da água, que aumenta o volume de escoamento superficial e a velocidade do escoamento, não dando tempo para que haja infiltração no solo. Isso também aumenta o risco de erosão e sobrecarga do jardim de chuva, podendo arrastar sedimentos e detritos, obstruindo o sistema de drenagem do jardim e prejudicando seu funcionamento. Para lidar com esse desafio, é interessante que os jardins sejam instalados em ruas de menor declividade ou adotar medidas que desacelerem o escoamento da água antes que ela entre no jardim de chuva. Nos dispositivos analisados, a Prefeitura executou um pequeno ressalto em concreto na entrada dos jardins, cuja funcionalidade é duvidosa, e pode atrapalhar o escoamento</li> </ul>

	de chuvas menos intensas. Além disso, em todos os jardins foram colocados lastros de brita no lado de entrada de água, para atenuar o problema de erosão e transporte de sedimentos.
Ruas sem sarjetas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruas sem sarjetas dificultam o funcionamento dos jardins de chuva, pois a ausência de um sistema adequado de escoamento faz com que a água da chuva se espalhe de maneira difusa pela via, sem necessariamente seguir para os jardins de chuva que são instalados junto à guia (meio-fio). Para contornar este problema, é importante que o sistema de drenagem do município inclua canais de direcionamento, permitindo que o escoamento de água seja direcionado de maneira controlada ao jardim de chuva.</li> </ul>

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Para melhor visualização dos problemas descritos pelo Quadro 2, são apresentadas as Figuras 28 a 31, que são parte do relatório fotográfico da visita de campo.

Figura 28 – Jardim de chuva com acúmulo de resíduos sólidos e matéria orgânica



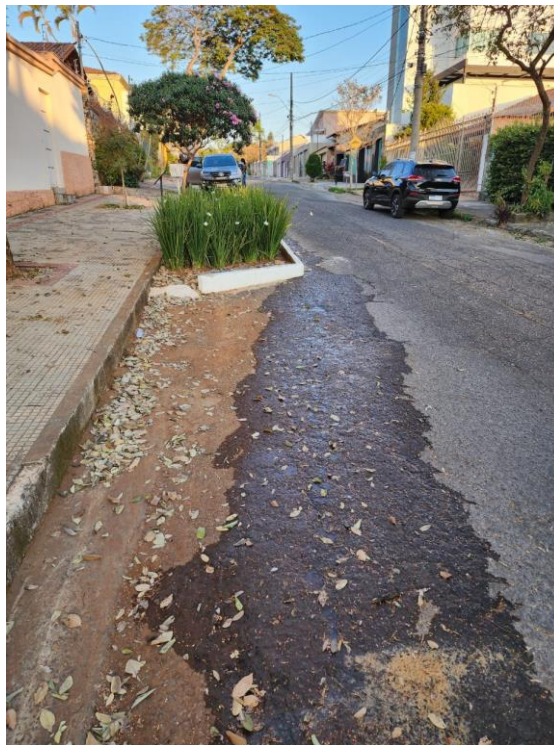
Fonte: Acervo da equipe do IFMG (2024)

Figura 29 – Jardim de chuva com perda quase total de sua vegetação



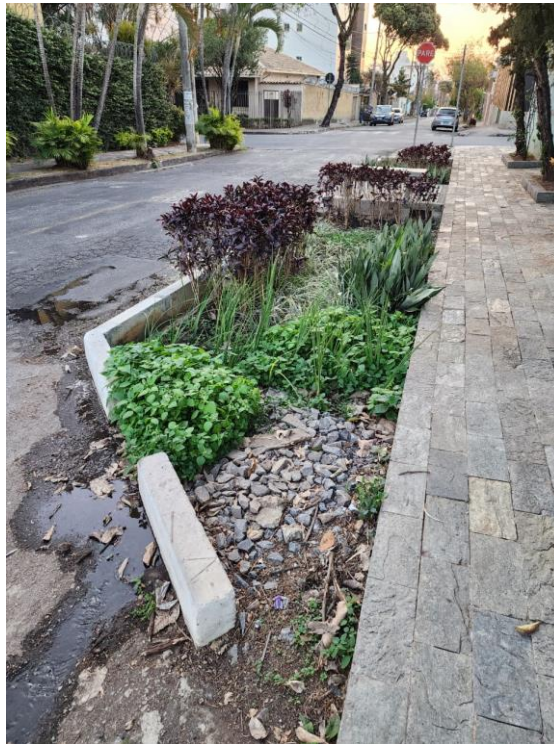
Fonte: Acervo da equipe do IFMG (2024)

Figura 30 – Água escoando para o sentido contrário do jardim de chuva, pela ausência de sarjetas



Fonte: Acervo da equipe do IFMG (2024)

Figura 31 – Água empoçando ao redor e escoando para o sentido contrário ao do jardim de chuva, pela ausência de sarjetas



Fonte: Acervo da equipe do IFMG (2024)

## **5.2. Análise de sensibilidade quanto à eficiência de um modelo de jardim de chuva e diagnóstico dos dispositivos implantados em Belo Horizonte**

Nesta primeira análise, foi verificada a eficiência do modelo de referência, de Fortaleza (CE) nas chuvas de Belo Horizonte (MG), considerando os mais diversos tempos de retorno e discretizações temporais, conforme pode ser observado na Tabela 8, com detalhes de cálculo apresentados nos APÊNDICES A.1 a D.6, na mesma ordem em que aparecem na tabela. Os demais parâmetros, neste primeiro momento, foram mantidos os mesmos.

Tabela 8 – Comparação da eficiência do jardim de chuva modelo em diferentes cenários de tempo de retorno (TR) e duração de chuvas (t) de Belo Horizonte

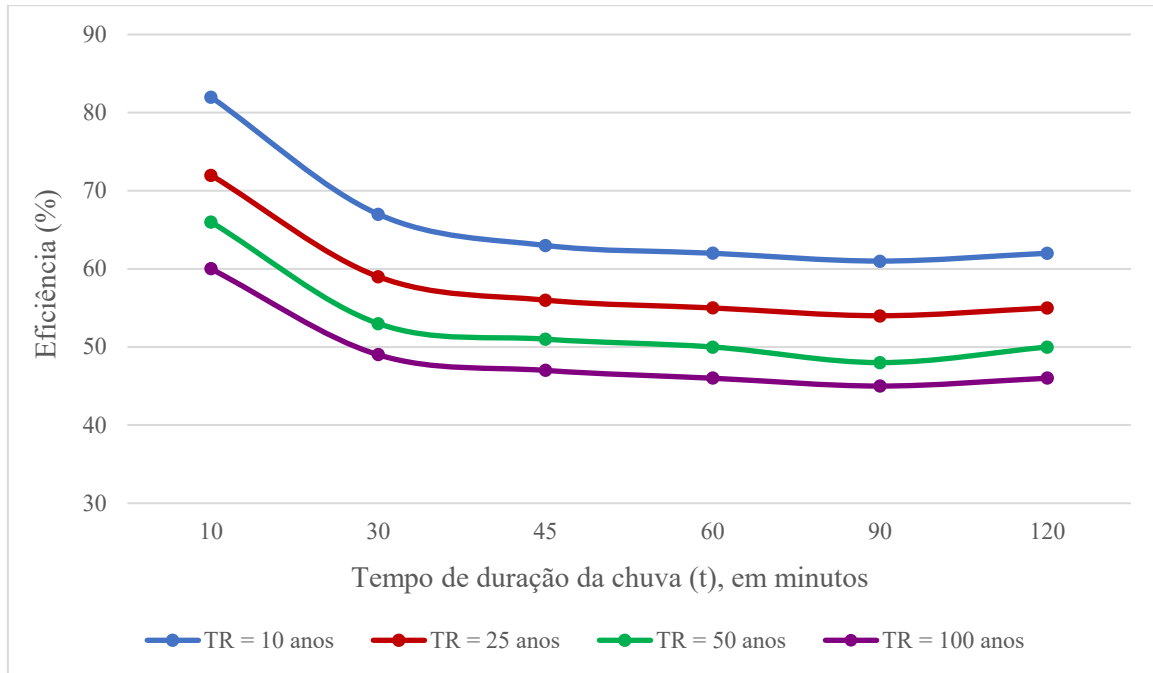
TR (anos)	t (min)	Intensidade da Precipitação (mm/h)	V <sub>entrada total</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>extravasado</sub> (m <sup>3</sup> )	Eficiência
<b>10</b>	10	194,48	2,92	0,52	82%
	30	89,67	4,03	1,35	67%
	45	67,41	4,55	1,68	63%
	60	55,08	4,96	1,90	62%
	90	41,45	5,60	2,17	61%
	<b>120</b>	<b>33,89</b>	<b>6,10</b>	<b>2,31</b>	<b>62%</b>
25	10	220,85	3,31	0,92	72%
	30	101,82	4,58	1,89	59%
	45	76,55	5,17	2,28	56%
	60	62,54	5,63	2,56	55%
	90	47,06	6,35	2,92	54%
	120	38,48	6,93	3,12	55%
50	10	243,65	3,66	1,26	66%
	30	112,44	5,06	2,37	53%
	45	84,6	5,71	2,81	51%
	60	69,17	6,22	3,14	50%
	90	53,12	7,17	3,72	48%
	120	42,69	7,68	3,87	50%
100	10	264,37	3,97	1,57	60%
	30	121,99	5,49	2,80	49%
	45	91,77	6,19	3,29	47%
	60	75,02	6,75	3,66	46%
	90	56,52	7,63	4,17	45%
	120	46,27	8,33	4,50	46%

NOTA: Os valores em destaque de TR = 10 anos e t = 120 minutos referem-se ao cenário de referência para a comparação entre as chuvas de Fortaleza e de Belo Horizonte, pois apresentaram os índices com maior grau de similaridade entre os eventos analisados em ambas as localidades.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Para melhor observação dos resultados obtidos quanto à eficiência do Jardim de Chuva modelo, de acordo com a duração da chuva e Tempo de Retorno (TR), foi elaborado o gráfico a seguir.

Figura 32 – Relação de eficiência do jardim de chuva de acordo com a duração da chuva, para diferentes tempos de retorno (TR), em porcentagem (%)



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise dos dados sobre a eficiência do modelo de jardim de chuva mostra diversas correlações importantes, que devem ser consideradas no planejamento e execução de projetos de drenagem urbana. Em primeiro lugar, de modo mais evidente, observa-se que a eficiência do jardim de chuva diminui à medida que o Tempo de Retorno (TR) aumenta. Em cenários com TR de 10 anos, a eficiência varia de 82% para chuvas de curta duração (10 minutos) até 61-62% para chuvas mais longas (120 minutos). Já para um TR de 100 anos, a eficiência começa em 60% e decresce para 46%, evidenciando que eventos de maior magnitude resultam em menor desempenho do sistema, como é esperado, já que estão relacionados a precipitações mais intensas, isto é, com maior volume.

A duração da chuva (t) também exerce influência direta na eficiência do jardim. Para um mesmo TR, a eficiência tende a diminuir com o aumento da duração da precipitação, o que indica que o sistema é mais eficaz durante eventos de curta duração e menos preparado para lidar com chuvas prolongadas, embora ainda tenha uma eficiência considerável, dadas as chuvas intensas utilizadas na modelagem.

Outro ponto relevante é a relação entre o volume extravasado ( $V_{\text{extravasado}}$ ) e a intensidade da precipitação. Em cenários de TR menores e chuvas curtas, o volume extravasado é significativamente menor, refletindo a capacidade do jardim de chuva de captar e infiltrar a água de maneira eficiente. No entanto, à medida que o TR e a duração aumentam, o volume de

extravasamento cresce, indicando que o sistema atinge sua capacidade máxima de retenção e infiltração. Para um TR de 10 anos e uma chuva de 10 minutos, o volume extravasado é de apenas 0,52 m<sup>3</sup>, enquanto para um TR de 100 anos e uma chuva de 120 minutos, o extravasamento sobe para 4,50 m<sup>3</sup>.

A eficiência do jardim de chuva também está diretamente relacionada ao volume de entrada ( $V_{\text{entrada total}}$ ): quanto maior o volume de entrada, menor a eficiência do sistema. Esta grandeza está diretamente relacionada com a área de contribuição (superfície do terreno que contribui com o escoamento de água para aquele ponto) e coeficiente de escoamento. Logo, se a área de contribuição para o jardim de chuva é muito grande, sua eficiência fica bastante reduzida, uma vez que não comporta todo o escoamento superficial direcionado para ele e não consegue infiltrá-lo.

Além dessas observações, o gráfico mostra uma tendência muito próxima à das Curvas IDF (Intensidade, Duração e Frequência), utilizadas para determinar as chuvas máximas em um determinado local, um fato já esperado, uma vez que os valores das Curvas IDF foram utilizados na modelagem dos dados. Essa disposição sugere que o sistema possui uma capacidade máxima de absorção e, após atingir esse limite de eficiência, o excesso de água inevitavelmente extravasa.

Ainda, a análise demonstra que o sistema mantém uma eficiência mínima de 45% a 50%, mesmo em cenários extremos. Isso mostra que, apesar de uma significativa redução nessa eficiência, o jardim de chuva ainda é capaz de mitigar parcialmente os efeitos de eventos intensos, evitando extravasamentos completos. Essas conclusões são fundamentais para o planejamento de jardins de chuva e outras soluções baseadas na natureza, permitindo a adaptação do projeto a diferentes cenários climáticos e níveis de precipitação.

Agora, para analisar a sensibilidade de cada parâmetro individualmente, foi elaborada a Tabela 9, que compara os valores do modelo de Fortaleza com a realidade de Belo Horizonte, de modo a observar seu comportamento sob as condições do novo território. O cenário utilizado no regime pluviométrico foi o que possui tempo de retorno de 10 anos (TR = 10) e duração de chuva de 120 minutos, pois, além de ser referência na elaboração de projetos de microdrenagem, também é o que mais se assemelha com um dos eventos monitorados por Chaves (2024) em Fortaleza/CE, e será utilizado para fins de comparação. Os detalhes dos cálculos são apresentados nos APÊNDICES E a J, cada um correspondente à variação de um parâmetro, seguindo a ordem mostrada na tabela.

Tabela 9 – Análise de sensibilidade dos jardins de chuva de Belo Horizonte, comparado ao modelo de referência, para TR = 10 anos e t = 120 min

<b>Parâmetro variado</b>	<b>Modelo de referência (Fortaleza, CE)</b>	<b>Dados de Belo Horizonte</b>	<b>Eficiência do modelo de referência</b>	<b>Eficiência do modelo de referência, se implantado em Belo Horizonte</b>
Intensidade da Precipitação	41,26 mm/h	33,89 mm/h	77%	62%
Taxa de infiltração	176,90 mm/h	187,56 mm/h	62%	63%
Área do jardim de chuva	5 m <sup>2</sup>	11 m <sup>2</sup> (tipologia simples)	62%	100%
Área de Contribuição	100 m <sup>2</sup>	4.066 m <sup>2</sup> <sup>(1)</sup>	62%	2%
Área de Contribuição	100 m <sup>2</sup>	2.577 m <sup>2</sup> <sup>(2)</sup>	62%	3%
Borda Livre (Hc)	45 cm	10 cm	62%	29%
Coefficiente de Escoamento	0,85	0,50	62%	99%

(1) Esta área de contribuição refere-se ao jardim de chuva de tipologia simples localizado na Rua Professor Coelho Júnior, nº 265, no Bairro Planalto, escolhido pelas suas boas condições, e foi estimada pelo método da bissetriz nas esquinas.

(2) Esta área de contribuição refere-se ao jardim de chuva de tipologia dupla localizado na Rua Massanielo Santos, nº 173, no Bairro Planalto, escolhido pelas suas boas condições, e foi estimada pelo método da bissetriz nas esquinas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

É interessante notar que, apesar da intensidade de precipitação em Belo Horizonte ser menor que a de Fortaleza, a eficiência também foi reduzida, em um cenário que se esperava um aumento. Isso se deve à forma como a chuva é distribuída ao longo do tempo (120 minutos): em Fortaleza, a precipitação ocorre de maneira mais uniforme, com maior concentração entre 50 e 70 minutos. Já em Belo Horizonte, a chuva se concentra nos minutos iniciais (até 60 minutos), saturando o jardim de chuva mais rapidamente e reduzindo sua eficiência.

A taxa de infiltração é ligeiramente maior em Belo Horizonte do que em Fortaleza (187,56 x 176,90 mm/h, respectivamente), o que acarreta em uma leve variação positiva na

eficiência que, embora esperada, é mínima (de 62 para 63%) e não tem impacto significativo nos volumes de chuva analisados. No entanto, isso não significa que o a taxa de infiltração é um parâmetro de importância secundária; muito pelo contrário: se nos casos analisados esse valor fosse, por exemplo, 100 mm/h, a eficiência já seria reduzida para 52%.

Em relação à área do jardim de chuva, nota-se que o dispositivo de tipologia simples em Belo Horizonte tem mais que o dobro da área do modelo de referência. Esse aumento tem impacto significativo na eficiência, que passou de 62% (modelo de referência) para 100% (situação real de BH), mostrando-se um dos parâmetros mais importantes e de maior sensibilidade a variações, o que reforça a importância do dimensionamento adequado para a retenção e infiltração da água. Também é importante notar que a profundidade dos jardins de BH é bem próxima às de Chaves (2024), sendo as primeiras de 131 cm (Tipo A) e 147 cm (Tipo B), e a da citada autora 138 cm.

A área de contribuição mostrou-se um fator preocupante, visto que se trata de uma grande área de drenagem, muito além da capacidade do dispositivo, fazendo com que estes tenham influência pouco expressiva na retenção e infiltração das águas pluviais.

Quanto à borda livre, a dos dispositivos implantados em Belo Horizonte é consideravelmente menor que a do modelo de Fortaleza, o que reduz o volume de água armazenado temporariamente e, conseqüentemente, o volume infiltrado. Segundo as análises realizadas, esse parâmetro se mostrou como um dos mais sensíveis, onde pequenas variações (até mesmo de 1 cm) já acarretaram em consideráveis flutuações na eficiência. No entanto, essa redução pode ser compensada pela maior taxa de infiltração, pela área ampliada do jardim de chuva e pela menor intensidade da precipitação, mesmo em cenários críticos.

Por fim, o coeficiente de escoamento mostrou-se outro um fator preponderante: considerando-se a área residencial onde as estruturas estão implantadas, com algumas praças, parques (inclusive os do Bairro Planalto sendo em regiões bem próximas ao Parque da Lagoa do Nado), canteiros e áreas permeáveis, pode-se utilizar como valor de referência 0,5, o que indica que metade da precipitação se converte em escoamento superficial, conferindo uma eficiência de 99% aos jardins de chuva.

Como última etapa da presente subseção, todos os parâmetros foram variados simultaneamente com os dados de Belo Horizonte, com o objetivo de realizar um diagnóstico de dois dispositivos implantados. Os resultados são mostrados na Tabela 8, e os cálculos podem ser conferidos nos APÊNDICES K.1 e K.2, onde a planilha de cálculo recebeu como dados de entrada:

- Intensidade da precipitação: 33,89 mm/h
- Taxa de infiltração: 187,56 mm/h
- Área do jardim de chuva: 11 m<sup>2</sup> (tipologia simples) e 20 m<sup>2</sup> (tipologia dupla)
- Área de contribuição: 4.066 m<sup>2</sup> (tipologia simples, localizado na Rua Professor Coelho Júnior, nº 265, no Bairro Planalto) e 2.577 m<sup>2</sup> (tipologia dupla, localizado na Rua Massanielo Santos, nº 173, no Bairro Planalto)
- Borda livre (Hc): 10 cm
- Coeficiente de escoamento: 0,50

Tabela 10 – Diagnóstico da situação real dos jardins de chuva em Belo Horizonte, para TR = 10 anos e t = 120 min

Tipologia de jardim	V <sub>entrada total</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>extravasado</sub> (m <sup>3</sup> )	Eficiência
Simple	138,58	133,36	4%
Dupla	88,72	79,21	11%

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Como se pode observar, as estruturas não são tão eficientes para os eventos críticos considerados, principalmente pela área de contribuição ser muito superior à do modelo estudado em Fortaleza, gerando grandes volumes de escoamento superficial. Isso ocorre pela distribuição esparsa dos dispositivos – onde cada um tem que atender à metade de uma quadra ou mais – e pela ausência ou baixa disponibilidade de outros dispositivos auxiliares, como bocas de lobo e sarjetas, que não se verificam em todas as ruas. Logo, tal resultado não indica que o jardim de chuva é ineficiente, mas sim que está sendo utilizado de forma incorreta ou em quantidade insuficiente, uma vez que deveria atender áreas bem menores do que a realidade local. Ainda assim, o de tipologia simples analisado conseguiu reter e infiltrar mais de 5 m<sup>3</sup> de águas pluviais; e os de tipologia dupla, cerca de 9,5 m<sup>3</sup> - que são volumes consideráveis.

### 5.3. Análise de situações hipotéticas envolvendo a implantação de jardins de chuva

Nessa etapa, foi feita uma análise hipotética, considerando a implantação de jardins de chuva diretamente em uma residência ou área comercial. Segundo a Lei N.º 11.181, de 8 de agosto de 2019, que aprova o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte, as taxas de permeabilidade (TP) mínimas de lotes devem obedecer aos seguintes limites dispostos na Tabela 11.

Tabela 11 – Taxas de permeabilidade mínimas exigidas em Belo Horizonte

Área do lote	Limite mínimo de TP
Até 360 m <sup>2</sup>	10%
Maior que 360 m <sup>2</sup> , limitada a 1.000 m <sup>2</sup>	20%
Maior que 1.000 m <sup>2</sup>	30%

Fonte: Prefeitura de Belo Horizonte (2019)

Para a primeira simulação, foi considerado um lote comum, de formato retangular, medindo 10 metros de frente e fundos e 20 metros nas laterais, perfazendo uma área de 200 m<sup>2</sup>. Neste caso, a taxa de permeabilidade mínima deve ser de 10%, o que corresponde a 20 m<sup>2</sup>.

Adotando-se como critério de dimensionamento as instruções de Melo *et al.* (2014, p. 148), que recomendam que a área do jardim de chuva seja, no mínimo, 5% da área da superfície impermeável adjacente, e considerando que toda a área restante é impermeável, tem-se que:

$$\frac{5}{100} \times 180 = 9 \text{ m}^2$$

Ainda, pressupõe-se que esse jardim possui uma borda livre de 15 cm ( $H_c = 15 \text{ cm}$ ) e está instalado em uma região cujo solo possui menor taxa de infiltração do que as trabalhadas anteriormente, sendo a atual de 100 mm/h. Como área de contribuição, foi considerada toda a superfície impermeável do lote, ou seja, 180 m<sup>2</sup>.

Quanto à intensidade de precipitação, adotou-se o valor de referência de um evento com TR de 10 anos e duração  $t = 10$  minutos, que é de 194,48 mm/h, segundo a Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem (Belo Horizonte, 2022, p. 6) – valores bastante usuais em estudos de drenagem. O coeficiente de escoamento adotado foi de 0,50 (considerando que o lote se encontra em área residencial) e, portanto, a planilha de cálculo recebeu como dados de entrada os seguintes valores:

- Intensidade da precipitação: 194,48 mm/h
- Taxa de infiltração: 100,00 mm/h
- Área do jardim de chuva: 9 m<sup>2</sup>
- Área de contribuição: 180 m<sup>2</sup>
- Borda livre ( $H_c$ ): 15 cm
- Coeficiente de escoamento: 0,50

Em uma segunda simulação, os procedimentos foram os mesmos descritos anteriormente, porém, variando novamente os dados de entrada da planilha, considerando agora um lote de 1.200 m<sup>2</sup>, em área comercial central, com borda livre de 30 cm, taxa de infiltração de 120 mm/h, TR = 10 anos e t = 30 minutos. Nesse caso, a taxa de permeabilidade mínima deve ser de 30%, o que corresponde a 360 m<sup>2</sup>, e a área mínima do jardim de chuva deverá ser (considerando que toda a área restante é impermeável):

$$\frac{5}{100} \times 840 = 42 \text{ m}^2$$

Dessa forma, têm-se:

- Intensidade da precipitação: 89,67 mm/h
- Taxa de infiltração: 120,00 mm/h
- Área do jardim de chuva: 42 m<sup>2</sup>
- Área de contribuição: 840 m<sup>2</sup>
- Borda livre (Hc): 30 cm
- Coeficiente de escoamento: 0,8 (área comercial central)

Os resultados da eficiência dos jardins de chuva das duas situações hipotéticas descritas são mostrados na Tabela 12, e os cálculos podem ser conferidos nos APÊNDICES L.1 e L.2, respectivamente.

Tabela 12 - Eficiência dos jardins de chuva das duas situações hipotéticas modeladas

<b>Simulação n°</b>	<b>V<sub>entrada total</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>V<sub>extravasado</sub> (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Eficiência</b>
1	3,21	1,71	47%
2	32,00	16,88	47%

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Uma eficiência de 47% ainda pode parecer pouco, mas se deve ressaltar que o evento chuvoso simulado é extremo, algo como toda a chuva acumulada de um mês precipitando em apenas 10 minutos (situação 1), onde o jardim conseguiu reter e infiltrar 1,5 m<sup>3</sup> dos 3,21 m<sup>3</sup> recebidos; ou 30 minutos (situação 2), onde o jardim conseguiu reter e infiltrar mais de 15 m<sup>3</sup> dos 32 m<sup>3</sup> recebidos.

## 6. CONCLUSÃO

O desenvolvimento desta pesquisa possibilitou o aprofundamento teórico, prático e metodológico sobre os jardins de chuva, uma solução baseada na natureza ainda pouco explorada na literatura científica, contribuindo para a ampliação do entendimento acerca de seu potencial funcional e aplicabilidade em contextos urbanos. Dessa forma, foi possível alcançar os objetivos previamente estabelecidos, apresentando uma análise de suas características técnicas e de implantação e, principalmente, avaliar a eficiência e realizar um diagnóstico das estruturas já implantadas em Belo Horizonte, por meio de métodos de modelagem e análise de sensibilidade.

Uma das limitações do estudo foi a distância entre a residência do autor e o município de Belo Horizonte (aproximadamente 900 km), o que impossibilitou a coleta de um maior volume de dados em campo. Dessa forma, a pesquisa baseou-se, predominantemente, em dados obtidos na literatura, os quais, ainda assim, se mostraram proveitosos e relevantes para as modelagens realizadas.

Os resultados obtidos evidenciam a importância dos estudos acerca de hidrologia e da drenagem urbana na mitigação dos riscos hidrológicos, seja em Belo Horizonte ou em qualquer outra localidade, onde os dispositivos analisados mostraram uma considerável eficiência hidrológica como solução baseada na natureza, quando implantados corretamente, sem sobrecarregá-los.

A análise de sensibilidade demonstrou que os jardins de chuva podem realmente contribuir na redução do escoamento superficial e na infiltração de águas pluviais, com potencial para a mitigação de eventos como inundações e alagamentos, onde os parâmetros de área do jardim, área de contribuição, borda livre e coeficiente de escoamento mostraram-se como os mais preponderantes nos casos estudados. Também se observou que a eficiência dos jardins de chuva pode ser comprometida por fatores como falhas no projeto, construção e distribuição espacial; manutenção; declividade do local de implantação; e variações na intensidade e duração das chuvas – especialmente no que se refere à área de contribuição, onde se pode observar que os modelos implantados em Belo Horizonte têm eficiência mínima, dado que atendem a áreas muito acima de sua capacidade. Ainda assim, mesmo em eventos extremos, quando analisados os parâmetros individualmente, a estrutura apresenta significativa parcela de contribuição, chegando até mesmo a 100% ou próximo disso em alguns cenários.

Ainda, as simulações mostraram que a área do jardim de chuva é um dos principais fatores de influência, conseguindo até mesmo compensar as perdas geradas pela redução da

borda livre, que também é um fator determinante. Porém, a eficiência é quase totalmente anulada quando a área de contribuição é exacerbada, sem a distribuição adequada dos dispositivos nas áreas de implantação.

É importante enfatizar que qualquer redução na demanda do sistema de drenagem urbana já proporciona benefícios, especialmente quando se trata de reduções de volume próximas à metade do escoamento superficial, como observado na maioria das situações estudadas. Inclusive, essa diminuição corrobora com os achados de outras pesquisas, até mesmo realizadas em diferentes localidades.

Além disso, a pesquisa sugere a necessidade de uma abordagem conjunta entre o poder público e a população, que considere não apenas a implantação dos dispositivos, mas também sua manutenção contínua e a conscientização dos munícipes sobre a importância desses sistemas sustentáveis. Programas como o "Adote um Jardim de Chuva", que incentivam a participação da comunidade na conservação dos dispositivos, demonstram ser uma estratégia relevante para garantir sua eficácia a longo prazo, com possibilidade de ampliar esta iniciativa e implantar mais dispositivos.

Políticas de planejamento urbano, com incentivos para que os moradores implantem um jardim de chuva diretamente nas residências, especialmente em áreas com novos loteamentos, onde as construções ainda estão no início, seria uma boa proposta a ser apresentada, e manteriam as áreas de contribuição dentro de limites que os dispositivos conseguem atender com considerável eficiência, como evidenciado nas hipóteses simuladas 1 e 2. Afinal, se o código de obras exige uma área permeável mínima, por que não utilizar parte dela para implantar este dispositivo, contribuindo ainda mais com a redução do escoamento superficial e alívio para o sistema público de drenagem? Sobretudo, rever a distribuição dos jardins no espaço, implantando mais dispositivos ou estruturas auxiliares, como bocas de lobo, sarjetas e mais áreas permeáveis, como canteiros e parques, certamente trarão resultados positivos na eficiência dos sistemas de drenagem urbana – um estudo que pode ser realizado em trabalhos futuros, inclusive valendo-se de dados coletados diretamente em campo, além daqueles disponíveis nas literaturas. A continuidade das pesquisas sobre essa técnica e o monitoramento de longo prazo dos dispositivos implantados são essenciais para aprimorar sua eficiência, comparar resultados e os adaptar às condições específicas de Belo Horizonte.

Por fim, conclui-se que os jardins de chuva representam uma alternativa viável e promissora para a gestão das águas pluviais em áreas urbanas, desde que sua implementação seja realizada corretamente, em locais estratégicos, com declividade e métodos construtivos

adequados, além de acompanhado por políticas públicas eficientes, planejamento e ações educativas voltadas à participação ativa da população.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, G. C.; FERREIRA, A. M.; TIEZZI, R. O. Levantamento de Banco de Dados de Desastres Naturais Através de Fontes Oficiais e Não Oficiais. **Associação Brasileira de Recursos Hídricos**. XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte, 2021. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/142/XXIV-SBRH0739-1-0-20210729-235726.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2025.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 13. n. 4. p.382-389. Campina Grande, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/KsNMdcRkZ3NBxyzzw3vqxc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 jul. 2024.

BARROS, E. N. *et al.* Jardins de chuva para mitigação dos alagamentos urbanos: análise de um projeto piloto. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 17. n. 2. 2024. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Tavares-19/publication/381175359\\_Jardins\\_de\\_chuva\\_para\\_mitigacao\\_dos\\_alagamentos\\_urbanos\\_analise\\_de\\_um\\_projeto\\_piloto/links/6676daf31846ca33b8453b90/Jardins-de-chuva-para-mitigacao-dos-alagamentos-urbanos-analise-de-um-projeto-piloto.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Paulo-Tavares-19/publication/381175359_Jardins_de_chuva_para_mitigacao_dos_alagamentos_urbanos_analise_de_um_projeto_piloto/links/6676daf31846ca33b8453b90/Jardins-de-chuva-para-mitigacao-dos-alagamentos-urbanos-analise-de-um-projeto-piloto.pdf). Disponível em: 20 jul. 2024.

BELO HORIZONTE (Município). **Adote um Jardim de Chuva**. Prefeitura de Belo Horizonte. 2024. Disponível em: <https://servicos.pbh.gov.br/servicos/i/663e60cfdd212a2b422248ca/5dc8470253fd6b5bbd99185f/servicos+adote-um-jardim-de-chuva>. Acesso em: 22 jun. 2024.

BELO HORIZONTE (Município). **Área de Risco Município de Belo Horizonte 2022**. Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: [https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/bhgeo/galeria-de-mapas/bh\\_area\\_risco\\_a0\\_300dpi\\_30062022.pdf](https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/bhgeo/galeria-de-mapas/bh_area_risco_a0_300dpi_30062022.pdf). Acesso em: 04 abr. 2024.

BELO HORIZONTE (Município). **Estrutura de Governo. Administrações Regionais**. Prefeitura de Belo Horizonte. 2024. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/estrutura-de-governo>. Acesso em: 06 abr. 2024.

BELO HORIZONTE (Município). **Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem. Capítulo 4 - Sistema De Drenagem Pluvial: Microdrenagem e Controles Regionais**. Prefeitura de Belo Horizonte, 2022. Disponível em: [https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/Cap%C3%ADtulo4\\_Microdrenagem%20e%20Controles%20Regionais\\_0.pdf](https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/Cap%C3%ADtulo4_Microdrenagem%20e%20Controles%20Regionais_0.pdf). Acesso em: 10 dez. 2024.

BELO HORIZONTE (Município). Intensidade, Duração e Frequência (IDF) para a Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH. **Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem**. Apêndice 1. Prefeitura de Belo Horizonte, 2022. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/obras-e-infraestrutura/Ap%C3%AAndice%201%20-%20CurvaIDF.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2024.

BELO HORIZONTE (Município). **Jardim de Chuva – Tipologia Dupla (Projeto)**. Secretaria Municipal de Políticas Urbanas. Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura. Prefeitura de Belo Horizonte, 2022.

BELO HORIZONTE (Município). **Jardim de Chuva – Tipologia Simples (Projeto)**. Secretaria Municipal de Políticas Urbanas. Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura. Prefeitura de Belo Horizonte, 2022.

BELO HORIZONTE (Município). **Lei N.º 11.181, de 8 de agosto de 2019**. Aprova o Plano Diretor do Município de Belo Horizonte e dá outras providências. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/plano-diretor-belo-horizonte-mg>. Acesso em: 06 mar. 2025.

BELO HORIZONTE (Município). **Manual técnico de manutenção – Jardins de chuva**. Prefeitura de Belo Horizonte. 2024.

BELO HORIZONTE (Município). **PBH investe na implantação de jardins de chuva para prevenir inundações e alagamentos**. Prefeitura de Belo Horizonte. 2023. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/informes-tecnicos/pbh-investe-na-implantacao-de-jardins-de-chuva-para-prevenir-inundacoes-e-alagamentos>. Acesso em: 22 jun. 2024.

BELO HORIZONTE (Município). **Projeto Jardins de Chuva – Bacia do Nado**. Subsecretaria de Planejamento Urbano. Secretaria Municipal de Políticas Urbanas. Prefeitura de Belo Horizonte. 2022.

BELO HORIZONTE (Município). **Resiliência Urbana. Jardins de Chuva**. Prefeitura de Belo Horizonte. 2024. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/informacoes/resiliencia-urbana#:~:text=Apesar%20de%20parecerem%20um%20jardim,e%20nutrientes%20para%20a%20vegeta%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 22 jun. 2024.

BELO HORIZONTE (Município). **Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil**. Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/defesa-civil>. Acesso em: 04 abr. 2024.

BENEDITO JUNIOR, C. A.; LONGO, R. M.; LIMA, G. T. N. P. Utilização de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) como Ferramenta ao Cumprimento ao ODS 11. **Revista de Gestão Social e Ambiental**. v. 18. n. 10. 2024. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/8997/4198>. Acesso em: 01 fev. 2025.

BRASIL. Ministério das Cidades. **O que são medidas estruturais e não estruturais?** Secretaria Nacional de Desenvolvimento Regional e Urbano. Prevenção de Riscos. Brasília, 2011. Disponível em: [https://www.google.com/search?q=medias+estruturais+e+nao+estruturais&dq=medias+estruturais+e+nao+estruturais&gs\\_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIICA EQABgWGB4yCAgCEAAYFhgeMggIAxAAGBYHjIHCAQQABjvBTIKCAUQABiiBBiJ BTIKCAYQABiABBiiBDIHCAcQABjvBdIBCDM3MjVqMGo5qAIAAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=medias+estruturais+e+nao+estruturais&dq=medias+estruturais+e+nao+estruturais&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIICA EQABgWGB4yCAgCEAAYFhgeMggIAxAAGBYHjIHCAQQABjvBTIKCAUQABiiBBiJ BTIKCAYQABiABBiiBDIHCAcQABjvBdIBCDM3MjVqMGo5qAIAAsAIB&sourceid=chrome&ie=UTF-8). Acesso em: 05 jun. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Controle de Inundações**. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano (SRHU). Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/8046-controle-de-inunda%C3%A7%C3%B5es.html>. Acesso em: 28 jan. 2025.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT)**. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Brasília, 2005. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715\\_manual\\_de\\_hidrologia\\_basica.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf). Acesso em: 07 mar. 2025.

BRASIL. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Cadernos Temáticos de Saneamento Básico: Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas. Fundação Nacional da Saúde. Ministério da Saúde. Brasília, 2016. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Drenagem+e+Manejo+das+%C3%81guas+Pluviais+Urbanas.pdf/72c03623-99ee-40d8-b1e8-107c182daf8e?version=1.0>. Acesso em: 28 jan. 2025.

CAMPOS, R. J.; BRANCO, P. Ocupação desordenada dos espaços urbanos e suas consequências socioambientais. **Revista Thêma et Scientia**. v. 11. n. 2E. 2021. Edição Especial Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: <https://themaetscientia.fag.edu.br/index.php/RTES/article/view/1391>. Acesso em: 10 set. 2024.

CAPUTO, U. K. *et al.* **Trincheiras de Infiltração Instaladas em Belo Horizonte - Aspectos Operacionais**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves, 2013. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=1981>. Acesso em: 01 fev. 2025.

CHAVES, M. T. R. **Jardim de Chuva como Solução Baseada na Natureza em Ambiente Tropical Urbano: Critérios de Design, Desempenho Hidrológico e Adaptabilidade Vegetal**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. Programa de Pós-graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental. Fortaleza, 2024.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. **Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE)**. Disponível em: <https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2012/06/1.-Codifica%C3%A7%C3%A3o-e-Classifica%C3%A7%C3%A3o-Brasileira-de-Desastres-COBRADE2.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2025.

CRUZ, J. P. M.; NUNES, M. S.; AZEVEDO, R. J. G. Planejamento Urbano e Áreas Predispostas e Risco Geológico em Belo Horizonte: Limitações da Lei De Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo. **Revista Caminhos de Geografia**. v. 20. n. 70. Uberlândia, 2019. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/43418/26705>. Acesso em: 07 abr. 2024.

DANIEL JUNIOR, J. J. **Avaliação de uma biorretenção como estrutura sustentável de drenagem urbana**. Programa de pós-graduação em engenharia civil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7839>. Acesso em: 28 jul. 2024.

DEFESA CIVIL DE MINAS GERAIS. **Como agir em caso de deslizamentos**. Manuais da Defesa Civil. Disponível em: <https://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/Como-agir-em-Deslizamentos.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2024.

DRUMOND, R. A. S.; ALMEIDA, R. P.; NASCIMENTO, N. O. Mudanças climáticas e Plano Diretor: mitigação de inundações em Belo Horizonte. **Cadernos MetrÓpole**. v. 25. n. 58. Belo

Horizonte, 2023. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/metropole/article/view/60214>. Acesso em: 10 dez. 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manual de Métodos de Análise dos Solos. Embrapa Solos**. 3ª edição. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172278/1/Pt-1-Cap-9-Porosidade.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2024.

ESTADO DE MINAS. **Chuva em BH: região Centro-Sul está em alerta para risco de deslizamentos**. Publicado em 9 de abril de 2023. Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2023/04/09/interna\\_gerais,1479178/chuva-em-bh-regiao-centro-sul-esta-em-alerta-para-risco-de-deslizamentos.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2023/04/09/interna_gerais,1479178/chuva-em-bh-regiao-centro-sul-esta-em-alerta-para-risco-de-deslizamentos.shtml). Acesso em: 28 jan. 2025.

FERREIRA, L. T. M. **Avaliação do funcionamento de um dispositivo de biorretenção: monitoramento e modelagem**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento). Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2017. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/2251>. Acesso em: 08 jul. 2024.

G1 MINAS GERAIS. BH tem quase cem áreas com risco de alagamento em caso de chuva. **G1 – O Portal de Notícias da Globo**. Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2019/10/11/bh-tem-quase-cem-areas-com-risco-de-alagamento-em-caso-de-chuva.ghtml>. Acesso em: 06 abr. 2024.

GOERL; R. F.; KOBİYAMA, M.; SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: Princípios, Conceitos, Processos e Aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 13. n. 2. 2012. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/166/288>. Acesso em: 08 abr. 2024.

GONÇALVES, G. P. C.; NUNES, M. S.; AZEVEDO, R. J. G. **Risco Geológico em Áreas Urbanas: Análise do Conteúdo das Mensagens de Alerta da Defesa Civil de Belo Horizonte ao Longo do Ano de 2022**. Programa Institucional de Iniciação Científica e Tecnológica Júnior. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2023. Disponível em: <https://www.dgeo.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/267/2023/09/NUNES-AZEVEDO-GON%C3%87ALVES-Relat%C3%B3rio-de-pesquisa-Risco-geol%C3%B3gico-em-%C3%A1reas-urbanas.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2025.

GUITARRARA, P. Deslizamento de terra no Brasil. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/enchentes-deslizamentos-terra-no-brasil-principais-causas.htm>. Acesso em: 05 abr. 2024.

INFOENEM. **A diferença entre enchente, inundação, alagamento e enxurrada**. 2020. Disponível em: <https://infoenem.com.br/a-diferenca-entre-enchente-inundacao-alagamento-e-enxurrada/>. Acesso em: 03 abr. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **IBGE Cidades: Belo Horizonte**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/belo-horizonte/panorama>. Acesso em: 06 abr. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Belo Horizonte**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/noticias?noticias=Belo%20Horizonte>. Acesso em: 08 abr. 2024.

LONDE, L. R. *et al.* Desastres relacionados à água no Brasil: perspectivas e recomendações. **Ambiente & Sociedade**. v. 17. n. 4. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/D65yDDZ5kXt5vrpH6PX6QPw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 02 fev. 2025.

LOPES, L. S.; MARQUES, R. F. P. V.; SILVA, F. B. **Jardins de chuva: uma revisão de literatura**. 18º Congresso Nacional de Meio Ambiente. Poços de Caldas, 2021. Disponível em: [https://www.meioambientepocos.com.br/ANAIS%202021/288\\_jardins-de-chuva-uma-revisao-de-literatura.pdf](https://www.meioambientepocos.com.br/ANAIS%202021/288_jardins-de-chuva-uma-revisao-de-literatura.pdf). Acesso em: 18 jul. 2024.

LUCAS, T. P. B. *et al.* Desastres Geológicos e Hidrológicos Ocorridos em Belo Horizonte-MG, 2010-2023. **XX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2024. Disponível em : [https://editorarealize.com.br/editora/anais/sbgfa/2024/TRABALHO\\_COMPLETO\\_EV206\\_MD1\\_ID1900\\_TB926\\_10102024215707.pdf](https://editorarealize.com.br/editora/anais/sbgfa/2024/TRABALHO_COMPLETO_EV206_MD1_ID1900_TB926_10102024215707.pdf). Acesso em : 23 mai. 2025.

LUCAS, T. P. B. *et al.* Impactos Hidrometeorológicos em Belo Horizonte – MG. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 11. v. 16. Biblioteca Digital de Periódicos da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2015. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/articloe/view/37051/25982>. Acesso em: 04 abr. 2024.

MACEDO, M. B. *et al.* Learning from the operation, pathology and maintenance of a bioretention system to optimize urban drainage practices. **Journal of Environmental Management**. v. 204, p. 454-466. 2017. Tradução. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002996348>. Acesso em: 13 jul. 2014.

MELO, T. A. T.; *et al.* Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**. v. 14, n. 4, p. 147-165. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/3mKRyFjSkPdBkhdvYVGZZLL/>. Acesso em: 01 jul. 2024.

MENDES, M. **Notas de Aula da Disciplina Drenagem**. PUCMINAS: Belo Horizonte, 2014. 65p.

MIRA, I.; SILVA, M. Mapeamento da suscetibilidade a inundação na bacia do alto-médio rios Mogi Guaçu e Pardo – MG. **Caderno de Geografia**. v. 73. n. 74. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais. Inconfidentes, 2023. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/29949/21119>. Acesso em: 06 abr. 2024.

MOREIRA; R. E. A.; BARBIERI, A. F. **Populações em Áreas de Risco de Deslizamentos em Belo Horizonte, Brasil**. ALAP 2020. IX Congresso de la Asociación Latinoamericana de Problacion. Disponível em: <https://congresosalap.com/alap2020/resumos/0001/PPT-eposter-trab-aceito-0323-1.PDF>. Acesso em: 03 abr. 2024.

NOLETO, R. G.; RODRIGUES, C. R. Análise crítica das técnicas compensatórias de drenagem urbana: uma revisão bibliográfica. **Revista Científica Semana Acadêmica**. v. 12. n. 242.

Disponível em: [https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/railana\\_gomes\\_1.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/railana_gomes_1.pdf). Acesso em: 10 jul. 2024.

OTTO, R. **Porosidade do Solo**. Moodle USP. Universidade de São Paulo. São Paulo, s.d. Disponível em: [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3347796/mod\\_resource/content/1/Aula%207\\_%20Porosidade%20do%20solo.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3347796/mod_resource/content/1/Aula%207_%20Porosidade%20do%20solo.pdf). Acesso em: 17 jul. 2024.

PINHEIRO, C. B.; SANTOS, R. E. **Trajetória da drenagem urbana no Brasil: uma perspectiva a partir da análise de políticas públicas recentes de Belo Horizonte**. XVIII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional (ENANPUR). Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/41976/2/TRAJETORIA%20DA%20DRENAGEM%20URBANA%20NO%20BRASIL.pdf>. Acesso em: 08 abr. 2024.

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOÍAS. **Infiltração**. Hidrologia Aplicada. Disponível em: [https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17403/material/Cap%204\\_Infiltracao\\_UFOP.pdf](https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17403/material/Cap%204_Infiltracao_UFOP.pdf). Acesso em: 06 jan. 2025.

PRATES, V. Todas as regionais de BH têm alerta de risco geológico até domingo (8/5). **Estado de Minas Gerais**. 05 de maio de 2022. Disponível em: [https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2022/05/05/interna\\_gerais,1364361/todas-as-regionais-de-bh-tem-alerta-de-risco-geologico-ate-domingo-8-5.shtml](https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2022/05/05/interna_gerais,1364361/todas-as-regionais-de-bh-tem-alerta-de-risco-geologico-ate-domingo-8-5.shtml). Acesso em: 06 abr. 2024.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. O. Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente Construído**. v. 14, n. 2. p. 79-90. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/XKqRwZMVtwgfYJZkXsNgkMs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 04 jul. 2024.

RIBEIRO, K. D. *et al.* Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**. Editora da Universidade Federal de Lavras. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/6dMcQxC43F8tMMKrfWkBXw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 jul. 2024.

ROCHA, E. G. A. **Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários**. Instituto de Pesquisas em Transportes. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Brasília, 2022. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/jspui/bitstream/1/7814/1/M%C3%B3dulo%201%20-%20Conceitos%20B%C3%A1sicos%20de%20Hidrologia.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2024.

RODRIGUES, L. A. A.; SILVA, J. F. O impacto do processo de urbanização na formação de enchentes e alagamentos em Belo Horizonte, MG. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**. v. 5. n. 4. Curitiba, 2022. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/55605/40923>. Acesso em: 10 dez. 2024.

SANTO ANDRÉ (Município). Qual a diferença entre enchente, inundação e alagamento? **Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André – SEMASA**. Disponível em: <https://www.semasa.sp.gov.br/wp-content/uploads/2015/02/Qual-a-diferen%C3%A7a-entre-enchente-inunda%C3%A7%C3%A3o-e-alagamento.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2024.

SANTOS, M. J. **Propriedades Físicas do Solo – Parte 2**. Clima e Água. 2018. Disponível em: <https://professormarciosantos3.blogspot.com/2018/03/propriedades-fisicas-do-solo-parte-2.html>. Acesso em: 16 jul. 2024.

SANTOS, O. R. *et al.* Expansão Urbana em Belo Horizonte e as Implicações no Transporte Urbano de Mercadorias. **Revista Pluris**. 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. Maceió, 2016. Disponível em: <https://fau.ufal.br/evento/pluris2016/files/Tema%20%20-%20Planejamento%20Regional%20e%20Urbano/Paper768.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2024.

SÃO PAULO (Município). **Jardins de chuva melhoram o escoamento das águas e trazem beleza para a capital paulista**. Cidade de São Paulo. Subprefeituras. 2023. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/noticias/?p=356074>. Acesso em: 22 jun. 2024.

SÃO PAULO (Município). **Prefeitura de São Paulo ultrapassa a marca de 200 jardins de chuva na cidade**. Cidade de São Paulo. Subprefeituras. Imprensa. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://imprensa.prefeitura.sp.gov.br/noticia/prefeitura-de-sao-paulo-ultrapassa-a-marca-de-jardins-de-chuva-na-cidade>. Acesso em: 25 jun. 2024.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2014. p. 112.

SILVA, F. O. E.; PALÁCIO JÚNIOR, F. F. R.; CAMPOS, J. N. B. Equação de chuvas para Fortaleza - CE com dados do pluviógrafo da UFC. **Revista DAE**. n. 192. 2013. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/9790/1/2013\\_art\\_foesilva.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/9790/1/2013_art_foesilva.pdf). Acesso em: 28 nov. 2024.

SILVA, R. C.; TEIXEIRA, K. O.; SANTOS, V. A. Elaboração de projeto de jardins de chuvas para minimização de enchentes. **Revista Construindo**. v. 12, n. 1. Belo Horizonte, 2020. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/construindo/article/view/6422>. Acesso em: 21 jul. 2024.

SOARES, D.; AZEVEDO, R.; NUNES, M. Modelagem da densidade espacial de eventos potencialmente perigosos: uma proposta para análise do risco de deslizamentos de terra no município de Belo Horizonte, Brasil. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**. n. 16. 2009. Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território. Disponível em: <https://cegot.org/ojs/index.php/GOT/article/view/2019.16.015/pdf>. Acesso em: 06 abr. 2024.

SOUSA, L. E.; SOUSA, A. Temporal deixa rastro de caos em BH; prefeito fala em ‘novo normal’. **Folha de São Paulo**. 24 de janeiro de 2024. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2024/01/temporal-deixa-rastro-de-caos-em-belo-horizonte.shtml>. Acesso em: 08 abr. 2024.

SOUSA, R. S.; SUTILI, F. J. Aspectos técnicos das plantas utilizadas em engenharia natural. **Ciência & Ambiente**. n. 46. v. 47. Universidade Federal de Santa Maria. 2013. Disponível em: <https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/848/2022/12/Aspectos-tecnicos-das-plantas-utilizadas-em-Engenharia-Natural.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2025.

**APÊNDICE A.1 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 10 anos e t = 10 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:01	
Intervalo	1	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,01474166667	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	2,92	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	0,52	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>82%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:01	1	4,86	0,4374	0,4374	0,01474166667	0,4226583333	8,453166667	8,453166667	0
0:02	2	5,83	0,5247	0,9621	0,01474166667	0,9326166667	18,65233333	18,65233333	0
0:03	3	6,81	0,6129	1,575	0,01474166667	1,530775	30,6155	30,6155	0
0:04	4	4,54	0,4086	1,9836	0,01474166667	1,924633333	38,49266667	38,49266667	0
0:05	5	3,57	0,3213	2,3049	0,01474166667	2,231191667	44,62383333	44,62383333	0
0:06	6	2,92	0,2628	2,5677	0,01474166667	2,47925	45	49,585	0,22925
0:07	7	2,27	0,2043	2,772	0,01474166667	2,668808333	45	53,37616667	0,1895583333
0:08	8	0,97	0,0873	2,8593	0,01474166667	2,741366667	45	54,82733333	0,07255833333
0:09	9	0,32	0,0288	2,8881	0,01474166667	2,755425	45	55,1085	0,01405833333
0:10	10	0,32	0,0288	2,9169	0,01474166667	2,769483333	45	55,38966667	0,01405833333

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE A.2 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 10 anos e t = 30 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:03	
Intervalo	3	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,044225	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	4,03	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	1,35	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>67%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:03	3	6,72	0,6048	0,6048	0,044225	0,560575	11,2115	11,2115	0
0:06	6	8,07	0,7263	1,3311	0,044225	1,24265	24,853	24,853	0
0:09	9	9,41	0,8469	2,178	0,044225	2,045325	40,9065	40,9065	0
0:12	12	6,28	0,5652	2,7432	0,044225	2,5663	45	51,326	0,3163
0:15	15	4,93	0,4437	3,1869	0,044225	2,965775	45	59,3155	0,399475
0:18	18	4,03	0,3627	3,5496	0,044225	3,28425	45	65,685	0,318475
0:21	21	3,14	0,2826	3,8322	0,044225	3,522625	45	70,4525	0,238375
0:24	24	1,34	0,1206	3,9528	0,044225	3,599	45	71,98	0,076375
0:27	27	0,45	0,0405	3,9933	0,044225	3,595275	44,9255	71,9055	0
0:30	30	0,45	0,0405	4,0338	0,044225	3,59155	44,851	71,831	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE A.3 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 10 anos e t = 45 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	00:04:30	
Intervalo	4,5	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,0663375	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	4,55	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	1,68	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>63%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:04:30	4,5	7,58	0,6822	0,6822	0,0663375	0,6158625	12,31725	12,31725	0
00:09:00	9	9,1	0,819	1,5012	0,0663375	1,368525	27,3705	27,3705	0
00:13:30	13,5	10,62	0,9558	2,457	0,0663375	2,2579875	45	45,15975	0,0079875
00:18:00	18	7,08	0,6372	3,0942	0,0663375	2,82885	45	56,577	0,5708625
00:22:30	22,5	5,56	0,5004	3,5946	0,0663375	3,2629125	45	65,25825	0,4340625
00:27:00	27	4,55	0,4095	4,0041	0,0663375	3,606075	45	72,1215	0,3431625
00:31:30	31,5	3,54	0,3186	4,3227	0,0663375	3,8583375	45	77,16675	0,2522625
00:36:00	36	1,52	0,1368	4,4595	0,0663375	3,9288	45	78,576	0,0704625
00:40:30	40,5	0,51	0,0459	4,5054	0,0663375	3,9083625	44,59125	78,16725	0
00:45:00	45	0,51	0,0459	4,5513	0,0663375	3,887925	44,1825	77,7585	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE A.4 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 10 anos e t = 60 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:06	
Intervalo	6	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,08845	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	4,96	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	1,90	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>62%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:06	6	8,26	0,7434	0,7434	0,08845	0,65495	13,099	13,099	0
0:12	12	9,91	0,8919	1,6353	0,08845	1,4584	29,168	29,168	0
0:18	18	11,57	1,0413	2,6766	0,08845	2,41125	45	48,225	0,16125
0:24	24	7,71	0,6939	3,3705	0,08845	3,0167	45	60,334	0,60545
0:30	30	6,06	0,5454	3,9159	0,08845	3,47365	45	69,473	0,45695
0:36	36	4,96	0,4464	4,3623	0,08845	3,8316	45	76,632	0,35795
0:42	42	3,86	0,3474	4,7097	0,08845	4,09055	45	81,811	0,25895
0:48	48	1,65	0,1485	4,8582	0,08845	4,1506	45	83,012	0,06005
0:54	54	0,55	0,0495	4,9077	0,08845	4,11165	44,221	82,233	0
1:00	60	0,55	0,0495	4,9572	0,08845	4,0727	43,442	81,454	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE A.5 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 10 anos e t = 90 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:09	
Intervalo	9	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,132675	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	5,60	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	2,17	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>61%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:09	9	9,33	0,8397	0,8397	0,132675	0,707025	14,1405	14,1405	0
0:18	18	11,19	1,0071	1,8468	0,132675	1,58145	31,629	31,629	0
0:27	27	14,3	1,287	3,1338	0,132675	2,735775	45	54,7155	0,485775
0:36	36	9,95	0,8955	4,0293	0,132675	3,4986	45	69,972	0,762825
0:45	45	6,84	0,6156	4,6449	0,132675	3,981525	45	79,6305	0,482925
0:54	54	3,73	0,3357	4,9806	0,132675	4,18455	45	83,691	0,203025
1:03	63	3,73	0,3357	5,3163	0,132675	4,387575	45	87,7515	0,203025
1:12	72	1,87	0,1683	5,4846	0,132675	4,4232	45	88,464	0,035625
1:21	81	0,62	0,0558	5,5404	0,132675	4,346325	43,4625	86,9265	0
1:30	90	0,62	0,0558	5,5962	0,132675	4,26945	41,925	85,389	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE A.6 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 10 anos e t = 120 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:12	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,1769	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	6,10	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	2,31	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>62%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:12	12	10,17	0,9153	0,9153	0,1769	0,7384	14,768	14,768	0
0:24	24	12,2	1,098	2,0133	0,1769	1,6595	33,19	33,19	0
0:36	36	15,59	1,4031	3,4164	0,1769	2,8857	45	57,714	0,6357
0:48	48	10,85	0,9765	4,3929	0,1769	3,6853	45	73,706	0,7996
1:00	60	7,46	0,6714	5,0643	0,1769	4,1798	45	83,596	0,4945
1:12	72	4,07	0,3663	5,4306	0,1769	4,3692	45	87,384	0,1894
1:24	84	4,07	0,3663	5,7969	0,1769	4,5586	45	91,172	0,1894
1:36	96	2,03	0,1827	5,9796	0,1769	4,5644	45	91,288	0,0058
1:48	108	0,68	0,0612	6,0408	0,1769	4,4487	42,686	88,974	0
2:00	120	0,68	0,0612	6,102	0,1769	4,333	40,372	86,66	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE B.1 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 25 anos e t = 10 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:01	
Intervalo	1	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,0147416	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	3,31	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	0,92	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>72%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:01	1	5,52	0,4968	0,4968	0,01474166667	0,48205833333	9,641166667	9,641166667	0
0:02	2	6,63	0,5967	1,0935	0,01474166667	1,064016667	21,280333333	21,280333333	0
0:03	3	7,73	0,6957	1,7892	0,01474166667	1,744975	34,8995	34,8995	0
0:04	4	5,15	0,4635	2,2527	0,01474166667	2,19373333333	43,87466667	43,87466667	0
0:05	5	4,05	0,3645	2,6172	0,01474166667	2,543491667	45	50,869833333	0,2934916667
0:06	6	3,31	0,2979	2,9151	0,01474166667	2,82665	45	56,533	0,28315833333
0:07	7	2,58	0,2322	3,1473	0,01474166667	3,04410833333	45	60,88216667	0,21745833333
0:08	8	1,1	0,099	3,2463	0,01474166667	3,128366667	45	62,567333333	0,084258333333
0:09	9	0,37	0,0333	3,2796	0,01474166667	3,146925	45	62,9385	0,018558333333
0:10	10	0,37	0,0333	3,3129	0,01474166667	3,16548333333	45	63,30966667	0,018558333333

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE B.2 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 25 anos e t = 30 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:03	
Intervalo	3	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,044225	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	4,58	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	1,89	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>59%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:03	3	7,64	0,6876	0,6876	0,044225	0,643375	12,8675	12,8675	0
0:06	6	9,16	0,8244	1,512	0,044225	1,42355	28,471	28,471	0
0:09	9	10,69	0,9621	2,4741	0,044225	2,341425	45	46,8285	0,091425
0:12	12	7,13	0,6417	3,1158	0,044225	2,9389	45	58,778	0,597475
0:15	15	5,6	0,504	3,6198	0,044225	3,398675	45	67,9735	0,459775
0:18	18	4,58	0,4122	4,032	0,044225	3,76665	45	75,333	0,367975
0:21	21	3,56	0,3204	4,3524	0,044225	4,042825	45	80,8565	0,276175
0:24	24	1,53	0,1377	4,4901	0,044225	4,1363	45	82,726	0,093475
0:27	27	0,51	0,0459	4,536	0,044225	4,137975	45	82,7595	0,001675
0:30	30	0,51	0,0459	4,5819	0,044225	4,13965	45	82,793	0,001675

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE B.3 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 25 anos e t = 45 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	00:04:30	
Intervalo	4,5	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,0663375	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	5,17	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	2,28	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>56%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:04:30	4,5	8,61	0,7749	0,7749	0,0663375	0,7085625	14,17125	14,17125	0
00:09:00	9	10,33	0,9297	1,7046	0,0663375	1,571925	31,4385	31,4385	0
00:13:30	13,5	12,06	1,0854	2,79	0,0663375	2,5909875	45	51,81975	0,3409875
00:18:00	18	8,04	0,7236	3,5136	0,0663375	3,24825	45	64,965	0,6572625
00:22:30	22,5	6,32	0,5688	4,0824	0,0663375	3,7507125	45	75,01425	0,5024625
00:27:00	27	5,17	0,4653	4,5477	0,0663375	4,149675	45	82,9935	0,3989625
00:31:30	31,5	4,02	0,3618	4,9095	0,0663375	4,4451375	45	88,90275	0,2954625
00:36:00	36	1,72	0,1548	5,0643	0,0663375	4,5336	45	90,672	0,0884625
00:40:30	40,5	0,57	0,0513	5,1156	0,0663375	4,5185625	44,69925	90,37125	0
00:45:00	45	0,57	0,0513	5,1669	0,0663375	4,503525	44,3985	90,0705	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE B.4 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 25 anos e t = 60 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:06	
Intervalo	6	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,08845	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	5,63	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	2,56	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>55%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:06	6	9,38	0,8442	0,8442	0,08845	0,75575	15,115	15,115	0
0:12	12	11,26	1,0134	1,8576	0,08845	1,6807	33,614	33,614	0
0:18	18	13,13	1,1817	3,0393	0,08845	2,77395	45	55,479	0,52395
0:24	24	8,76	0,7884	3,8277	0,08845	3,4739	45	69,478	0,69995
0:30	30	6,88	0,6192	4,4469	0,08845	4,00465	45	80,093	0,53075
0:36	36	5,63	0,5067	4,9536	0,08845	4,4229	45	88,458	0,41825
0:42	42	4,38	0,3942	5,3478	0,08845	4,72865	45	94,573	0,30575
0:48	48	1,88	0,1692	5,517	0,08845	4,8094	45	96,188	0,08075
0:54	54	0,63	0,0567	5,5737	0,08845	4,77765	44,365	95,553	0
1:00	60	0,63	0,0567	5,6304	0,08845	4,7459	43,73	94,918	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE B.5 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 25 anos e t = 90 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:09	
Intervalo	9	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,132675	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	6,35	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	2,92	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>54%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:09	9	10,59	0,9531	0,9531	0,132675	0,820425	16,4085	16,4085	0
0:18	18	12,71	1,1439	2,097	0,132675	1,83165	36,633	36,633	0
0:27	27	16,24	1,4616	3,5586	0,132675	3,160575	45	63,2115	0,910575
0:36	36	11,29	1,0161	4,5747	0,132675	4,044	45	80,88	0,883425
0:45	45	7,76	0,6984	5,2731	0,132675	4,609725	45	92,1945	0,565725
0:54	54	4,24	0,3816	5,6547	0,132675	4,85865	45	97,173	0,248925
1:03	63	4,24	0,3816	6,0363	0,132675	5,107575	45	102,1515	0,248925
1:12	72	2,12	0,1908	6,2271	0,132675	5,1657	45	103,314	0,058125
1:21	81	0,71	0,0639	6,291	0,132675	5,096925	43,6245	101,9385	0
1:30	90	0,71	0,0639	6,3549	0,132675	5,02815	42,249	100,563	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE B.6 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 25 anos e t = 120 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:12	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,1769	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	6,93	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	3,12	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>55%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:12	12	11,54	1,0386	1,0386	0,1769	0,8617	17,234	17,234	0
0:24	24	13,85	1,2465	2,2851	0,1769	1,9313	38,626	38,626	0
0:36	36	17,7	1,593	3,8781	0,1769	3,3474	45	66,948	1,0974
0:48	48	12,31	1,1079	4,986	0,1769	4,2784	45	85,568	0,931
1:00	60	8,47	0,7623	5,7483	0,1769	4,8638	45	97,276	0,5854
1:12	72	4,62	0,4158	6,1641	0,1769	5,1027	45	102,054	0,2389
1:24	84	4,62	0,4158	6,5799	0,1769	5,3416	45	106,832	0,2389
1:36	96	2,31	0,2079	6,7878	0,1769	5,3726	45	107,452	0,031
1:48	108	0,77	0,0693	6,8571	0,1769	5,265	42,848	105,3	0
2:00	120	0,77	0,0693	6,9264	0,1769	5,1574	40,696	103,148	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE C.1 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 50 anos e t = 10 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:01	
Intervalo	1	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,0147416	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	3,66	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	1,26	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>66%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:01	1	6,09	0,5481	0,5481	0,01474166667	0,5333583333	10,66716667	10,66716667	0
0:02	2	7,31	0,6579	1,206	0,01474166667	1,176516667	23,53033333	23,53033333	0
0:03	3	8,53	0,7677	1,9737	0,01474166667	1,929475	38,5895	38,5895	0
0:04	4	5,69	0,5121	2,4858	0,01474166667	2,426833333	45	48,53666667	0,1768333333
0:05	5	4,47	0,4023	2,8881	0,01474166667	2,814391667	45	56,28783333	0,3875583333
0:06	6	3,65	0,3285	3,2166	0,01474166667	3,12815	45	62,563	0,3137583333
0:07	7	2,84	0,2556	3,4722	0,01474166667	3,369008333	45	67,38016667	0,2408583333
0:08	8	1,22	0,1098	3,582	0,01474166667	3,464066667	45	69,28133333	0,09505833333
0:09	9	0,41	0,0369	3,6189	0,01474166667	3,486225	45	69,7245	0,02215833333
0:10	10	0,41	0,0369	3,6558	0,01474166667	3,508383333	45	70,16766667	0,02215833333

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE C.2 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 50 anos e t = 30 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:03	
Intervalo	3	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,044225	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	5,06	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	2,37	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>53%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:03	3	8,43	0,7587	0,7587	0,044225	0,714475	14,2895	14,2895	0
0:06	6	10,12	0,9108	1,6695	0,044225	1,58105	31,621	31,621	0
0:09	9	11,81	1,0629	2,7324	0,044225	2,599725	45	51,9945	0,349725
0:12	12	7,87	0,7083	3,4407	0,044225	3,2638	45	65,276	0,664075
0:15	15	6,18	0,5562	3,9969	0,044225	3,775775	45	75,5155	0,511975
0:18	18	5,06	0,4554	4,4523	0,044225	4,18695	45	83,739	0,411175
0:21	21	3,94	0,3546	4,8069	0,044225	4,497325	45	89,9465	0,310375
0:24	24	1,69	0,1521	4,959	0,044225	4,6052	45	92,104	0,107875
0:27	27	0,56	0,0504	5,0094	0,044225	4,611375	45	92,2275	0,006175
0:30	30	0,56	0,0504	5,0598	0,044225	4,61755	45	92,351	0,006175

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE C.3 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 50 anos e t = 45 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	00:04:30	
Intervalo	4,5	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,0663375	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	5,71	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	2,81	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>51%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:04:30	4,5	9,52	0,8568	0,8568	0,0663375	0,7904625	15,80925	15,80925	0
00:09:00	9	11,42	1,0278	1,8846	0,0663375	1,751925	35,0385	35,0385	0
00:13:30	13,5	13,32	1,1988	3,0834	0,0663375	2,8843875	45	57,68775	0,6343875
00:18:00	18	8,88	0,7992	3,8826	0,0663375	3,61725	45	72,345	0,7328625
00:22:30	22,5	6,98	0,6282	4,5108	0,0663375	4,1791125	45	83,58225	0,5618625
00:27:00	27	5,71	0,5139	5,0247	0,0663375	4,626675	45	92,5335	0,4475625
00:31:30	31,5	4,44	0,3996	5,4243	0,0663375	4,9599375	45	99,19875	0,3332625
00:36:00	36	1,9	0,171	5,5953	0,0663375	5,0646	45	101,292	0,1046625
00:40:30	40,5	0,63	0,0567	5,652	0,0663375	5,0549625	44,80725	101,09925	0
00:45:00	45	0,63	0,0567	5,7087	0,0663375	5,045325	44,6145	100,9065	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE C.4 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 50 anos e t = 60 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:06	
Intervalo	6	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,08845	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	6,22	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	3,14	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>50%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:06	6	10,37	0,9333	0,9333	0,08845	0,84485	16,897	16,897	0
0:12	12	12,45	1,1205	2,0538	0,08845	1,8769	37,538	37,538	0
0:18	18	14,52	1,3068	3,3606	0,08845	3,09525	45	61,905	0,84525
0:24	24	9,68	0,8712	4,2318	0,08845	3,878	45	77,56	0,78275
0:30	30	7,61	0,6849	4,9167	0,08845	4,47445	45	89,489	0,59645
0:36	36	6,22	0,5598	5,4765	0,08845	4,9458	45	98,916	0,47135
0:42	42	4,84	0,4356	5,9121	0,08845	5,29295	45	105,859	0,34715
0:48	48	2,07	0,1863	6,0984	0,08845	5,3908	45	107,816	0,09785
0:54	54	0,69	0,0621	6,1605	0,08845	5,36445	44,473	107,289	0
1:00	60	0,69	0,0621	6,2226	0,08845	5,3381	43,946	106,762	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE C.5 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 50 anos e t = 90 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:09	
Intervalo	9	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,132675	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	7,17	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	3,72	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>48%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:09	9	11,95	1,0755	1,0755	0,132675	0,942825	18,8565	18,8565	0
0:18	18	14,34	1,2906	2,3661	0,132675	2,10075	42,015	42,015	0
0:27	27	18,33	1,6497	4,0158	0,132675	3,617775	45	72,3555	1,367775
0:36	36	12,75	1,1475	5,1633	0,132675	4,6326	45	92,652	1,014825
0:45	45	8,77	0,7893	5,9526	0,132675	5,289225	45	105,7845	0,656625
0:54	54	4,78	0,4302	6,3828	0,132675	5,58675	45	111,735	0,297525
1:03	63	4,78	0,4302	6,813	0,132675	5,884275	45	117,6855	0,297525
1:12	72	2,39	0,2151	7,0281	0,132675	5,9667	45	119,334	0,082425
1:21	81	0,8	0,072	7,1001	0,132675	5,906025	43,7865	118,1205	0
1:30	90	0,8	0,072	7,1721	0,132675	5,84535	42,573	116,907	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE C.6 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 50 anos e t = 120 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:12	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,1769	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	7,68	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	3,87	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>50%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:12	12	12,81	1,1529	1,1529	0,1769	0,976	19,52	19,52	0
0:24	24	15,37	1,3833	2,5362	0,1769	2,1824	43,648	43,648	0
0:36	36	19,64	1,7676	4,3038	0,1769	3,7731	45	75,462	1,5231
0:48	48	13,66	1,2294	5,5332	0,1769	4,8256	45	96,512	1,0525
1:00	60	9,39	0,8451	6,3783	0,1769	5,4938	45	109,876	0,6682
1:12	72	5,12	0,4608	6,8391	0,1769	5,7777	45	115,554	0,2839
1:24	84	5,12	0,4608	7,2999	0,1769	6,0616	45	121,232	0,2839
1:36	96	2,56	0,2304	7,5303	0,1769	6,1151	45	122,302	0,0535
1:48	108	0,85	0,0765	7,6068	0,1769	6,0147	42,992	120,294	0
2:00	120	0,85	0,0765	7,6833	0,1769	5,9143	40,984	118,286	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE D.1 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 100 anos e t = 10 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:01	
Intervalo	1	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,0147416	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	3,97	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	1,57	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>60%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:01	1	6,61	0,5949	0,5949	0,01474166667	0,5801583333	11,60316667	11,60316667	0
0:02	2	7,93	0,7137	1,3086	0,01474166667	1,279116667	25,58233333	25,58233333	0
0:03	3	9,25	0,8325	2,1411	0,01474166667	2,096875	41,9375	41,9375	0
0:04	4	6,17	0,5553	2,6964	0,01474166667	2,637433333	45	52,74866667	0,3874333333
0:05	5	4,85	0,4365	3,1329	0,01474166667	3,059191667	45	61,18383333	0,4217583333
0:06	6	3,97	0,3573	3,4902	0,01474166667	3,40175	45	68,035	0,3425583333
0:07	7	3,08	0,2772	3,7674	0,01474166667	3,664208333	45	73,28416667	0,2624583333
0:08	8	1,32	0,1188	3,8862	0,01474166667	3,768266667	45	75,36533333	0,1040583333
0:09	9	0,44	0,0396	3,9258	0,01474166667	3,793125	45	75,8625	0,02485833333
0:10	10	0,44	0,0396	3,9654	0,01474166667	3,817983333	45	76,35966667	0,02485833333

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE D.2 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 100 anos e t = 30 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:03	
Intervalo	3	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,044225	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	5,49	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	2,80	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>49%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:03	3	9,15	0,8235	0,8235	0,044225	0,779275	15,5855	15,5855	0
0:06	6	10,98	0,9882	1,8117	0,044225	1,72325	34,465	34,465	0
0:09	9	12,81	1,1529	2,9646	0,044225	2,831925	45	56,6385	0,581925
0:12	12	8,54	0,7686	3,7332	0,044225	3,5563	45	71,126	0,724375
0:15	15	6,71	0,6039	4,3371	0,044225	4,115975	45	82,3195	0,559675
0:18	18	5,49	0,4941	4,8312	0,044225	4,56585	45	91,317	0,449875
0:21	21	4,27	0,3843	5,2155	0,044225	4,905925	45	98,1185	0,340075
0:24	24	1,83	0,1647	5,3802	0,044225	5,0264	45	100,528	0,120475
0:27	27	0,61	0,0549	5,4351	0,044225	5,037075	45	100,7415	0,010675
0:30	30	0,61	0,0549	5,49	0,044225	5,04775	45	100,955	0,010675

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE D.3 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 100 anos e t = 45 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	00:04:30	
Intervalo	4,5	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,0663375	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	6,19	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	3,29	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>47%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
00:04:30	4,5	10,32	0,9288	0,9288	0,0663375	0,8624625	17,24925	17,24925	0
00:09:00	9	12,39	1,1151	2,0439	0,0663375	1,911225	38,2245	38,2245	0
00:13:30	13,5	14,45	1,3005	3,3444	0,0663375	3,1453875	45	62,90775	0,8953875
00:18:00	18	9,64	0,8676	4,212	0,0663375	3,94665	45	78,933	0,8012625
00:22:30	22,5	7,57	0,6813	4,8933	0,0663375	4,5616125	45	91,23225	0,6149625
00:27:00	27	6,19	0,5571	5,4504	0,0663375	5,052375	45	101,0475	0,4907625
00:31:30	31,5	4,82	0,4338	5,8842	0,0663375	5,4198375	45	108,39675	0,3674625
00:36:00	36	2,06	0,1854	6,0696	0,0663375	5,5389	45	110,778	0,1190625
00:40:30	40,5	0,69	0,0621	6,1317	0,0663375	5,5346625	44,91525	110,69325	0
00:45:00	45	0,69	0,0621	6,1938	0,0663375	5,530425	44,8305	110,6085	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE D.4 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 100 anos e t = 60 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:06	
Intervalo	6	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,08845	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	6,75	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	3,66	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>46%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:06	6	11,25	1,0125	1,0125	0,08845	0,92405	18,481	18,481	0
0:12	12	13,5	1,215	2,2275	0,08845	2,0506	41,012	41,012	0
0:18	18	15,75	1,4175	3,645	0,08845	3,37965	45	67,593	1,12965
0:24	24	10,5	0,945	4,59	0,08845	4,2362	45	84,724	0,85655
0:30	30	8,25	0,7425	5,3325	0,08845	4,89025	45	97,805	0,65405
0:36	36	6,75	0,6075	5,94	0,08845	5,4093	45	108,186	0,51905
0:42	42	5,25	0,4725	6,4125	0,08845	5,79335	45	115,867	0,38405
0:48	48	2,25	0,2025	6,615	0,08845	5,9074	45	118,148	0,11405
0:54	54	0,75	0,0675	6,6825	0,08845	5,88645	44,581	117,729	0
1:00	60	0,75	0,0675	6,75	0,08845	5,8655	44,162	117,31	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE D.5 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 100 anos e t = 90 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:09	
Intervalo	9	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,132675	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	7,63	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	4,17	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>45%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:09	9	12,72	1,1448	1,1448	0,132675	1,012125	20,2425	20,2425	0
0:18	18	15,26	1,3734	2,5182	0,132675	2,25285	45	45,057	0,00285
0:27	27	19,5	1,755	4,2732	0,132675	3,875175	45	77,5035	1,622325
0:36	36	13,56	1,2204	5,4936	0,132675	4,9629	45	99,258	1,087725
0:45	45	9,33	0,8397	6,3333	0,132675	5,669925	45	113,3985	0,707025
0:54	54	5,09	0,4581	6,7914	0,132675	5,99535	45	119,907	0,325425
1:03	63	5,09	0,4581	7,2495	0,132675	6,320775	45	126,4155	0,325425
1:12	72	2,54	0,2286	7,4781	0,132675	6,4167	45	128,334	0,095925
1:21	81	0,85	0,0765	7,5546	0,132675	6,360525	43,8765	127,2105	0
1:30	90	0,85	0,0765	7,6311	0,132675	6,30435	42,753	126,087	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE D.6 – Eficiência do Jardim de Chuva Modelo para TR = 100 anos e t = 120 minutos em Belo Horizonte**

INTERVALO 1	0:12	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,1769	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	8,33	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	4,50	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>46%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:12	12	13,88	1,2492	1,2492	0,1769	1,0723	21,446	21,446	0
0:24	24	16,66	1,4994	2,7486	0,1769	2,3948	45	47,896	0,1448
0:36	36	21,29	1,9161	4,6647	0,1769	4,134	45	82,68	1,7392
0:48	48	14,81	1,3329	5,9976	0,1769	5,29	45	105,8	1,156
1:00	60	10,18	0,9162	6,9138	0,1769	6,0293	45	120,586	0,7393
1:12	72	5,55	0,4995	7,4133	0,1769	6,3519	45	127,038	0,3226
1:24	84	5,55	0,4995	7,9128	0,1769	6,6745	45	133,49	0,3226
1:36	96	2,78	0,2502	8,163	0,1769	6,7478	45	134,956	0,0733
1:48	108	0,93	0,0837	8,2467	0,1769	6,6546	43,136	133,092	0
2:00	120	0,93	0,0837	8,3304	0,1769	6,5614	41,272	131,228	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE E – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando a Intensidade de Precipitação**

INTERVALO 1	0:05	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,1769	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	6,50	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	1,49	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>77%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:05	5	1,4	0,126	0,126	0,1769	0	0	0	0
0:10	10	0,2	0,018	0,144	0,1769	0	0	0	0
0:15	15	0,4	0,036	0,18	0,1769	0	0	0	0
0:20	20	3	0,27	0,45	0,1769	0,0931	1,862	1,862	0
0:25	25	7,4	0,666	1,116	0,1769	0,5822	11,644	11,644	0
0:30	30	7,8	0,702	1,818	0,1769	1,1073	22,146	22,146	0
0:35	35	4	0,36	2,178	0,1769	1,2904	25,808	25,808	0
0:40	40	3,4	0,306	2,484	0,1769	1,4195	28,39	28,39	0
0:45	45	5,2	0,468	2,952	0,1769	1,7106	34,212	34,212	0
0:50	50	11,4	1,026	3,978	0,1769	2,5597	45	51,194	0,3097
1:00	60	7,8	0,702	4,68	0,1769	3,0848	45	61,696	0,5251
1:05	65	5,6	0,504	5,184	0,1769	3,4119	45	68,238	0,3271
1:10	70	4,6	0,414	5,598	0,1769	3,649	45	72,98	0,2371
1:15	75	3	0,27	5,868	0,1769	3,7421	45	74,842	0,0931
1:20	80	1	0,09	5,958	0,1769	3,6552	43,262	73,104	0
1:25	85	1	0,09	6,048	0,1769	3,5683	41,524	71,366	0
1:30	90	0,8	0,072	6,12	0,1769	3,4634	39,426	69,268	0
1:35	95	2,2	0,198	6,318	0,1769	3,4845	39,848	69,69	0
1:40	100	1	0,09	6,408	0,1769	3,3976	38,11	67,952	0
1:45	105	0,6	0,054	6,462	0,1769	3,2747	35,652	65,494	0
1:50	110	0,2	0,018	6,48	0,1769	3,1158	32,474	62,316	0
1:55	115	0,2	0,018	6,498	0,1769	2,9569	29,296	59,138	0
2:00	120	0	0	6,498	0,1769	2,78	25,758	55,6	0

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE F – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando a Taxa de Infiltração**

INTERVALO 1	0:12	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	187,56	mm/h
VI	0,18756	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	6,10	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	2,23	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>63%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:12	12	10,17	0,9153	0,9153	0,18756	0,72774	14,5548	14,5548	0
0:24	24	12,2	1,098	2,0133	0,18756	1,63818	32,7636	32,7636	0
0:36	36	15,59	1,4031	3,4164	0,18756	2,85372	45	57,0744	0,60372
0:48	48	10,85	0,9765	4,3929	0,18756	3,64266	45	72,8532	0,78894
1:00	60	7,46	0,6714	5,0643	0,18756	4,1265	45	82,53	0,48384
1:12	72	4,07	0,3663	5,4306	0,18756	4,30524	45	86,1048	0,17874
1:24	84	4,07	0,3663	5,7969	0,18756	4,48398	45	89,6796	0,17874
1:36	96	2,03	0,1827	5,9796	0,18756	4,47912	44,9028	89,5824	0
1:48	108	0,68	0,0612	6,0408	0,18756	4,35276	42,3756	87,0552	0
2:00	120	0,68	0,0612	6,102	0,18756	4,2264	39,8484	84,528	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE G – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando a Área do Jardim**

INTERVALO 1	0:12	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,38918	m <sup>3</sup>
Área do jardim	11	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	6,51	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	0,00	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>100%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:12	12	10,17	0,97632	0,97632	0,38918	0,58714	5,337636364	5,337636364	0
0:24	24	12,2	1,1712	2,14752	0,38918	1,36916	12,44690909	12,44690909	0
0:36	36	15,59	1,49664	3,64416	0,38918	2,47662	22,51472727	22,51472727	0
0:48	48	10,85	1,0416	4,68576	0,38918	3,12904	28,44581818	28,44581818	0
1:00	60	7,46	0,71616	5,40192	0,38918	3,45602	31,41836364	31,41836364	0
1:12	72	4,07	0,39072	5,79264	0,38918	3,45756	31,43236364	31,43236364	0
1:24	84	4,07	0,39072	6,18336	0,38918	3,4591	31,44636364	31,44636364	0
1:36	96	2,03	0,19488	6,37824	0,38918	3,2648	29,68	29,68	0
1:48	108	0,68	0,06528	6,44352	0,38918	2,9409	26,73545455	26,73545455	0
2:00	120	0,68	0,06528	6,5088	0,38918	2,617	23,79090909	23,79090909	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE H.1 – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando a Área de Contribuição <sup>(1)</sup>**

INTERVALO 1	0:12	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,1769	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	4066	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	234,66	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	230,64	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>2%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:12	12	10,17	35,199387	35,199387	0,1769	35,022487	45	700,44974	32,772487
0:24	24	12,2	42,22542	77,424807	0,1769	77,071007	45	1541,42014	42,04852
0:36	36	15,59	53,958549	131,383356	0,1769	130,852656	45	2617,05312	53,781649
0:48	48	10,85	37,552935	168,936291	0,1769	168,228691	45	3364,57382	37,376035
1:00	60	7,46	25,819806	194,756097	0,1769	193,871597	45	3877,43194	25,642906
1:12	72	4,07	14,086677	208,842774	0,1769	207,781374	45	4155,62748	13,909777
1:24	84	4,07	14,086677	222,929451	0,1769	221,691151	45	4433,82302	13,909777
1:36	96	2,03	7,026033	229,955484	0,1769	228,540284	45	4570,80568	6,849133
1:48	108	0,68	2,353548	232,309032	0,1769	230,716932	45	4614,33864	2,176648
2:00	120	0,68	2,353548	234,66258	0,1769	232,89358	45	4657,8716	2,176648

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE H.2 – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando a Área de Contribuição <sup>(2)</sup>**

INTERVALO 1	0:12	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,1769	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	2577	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
C	0,85	
Volume de entrada total	148,85	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	144,83	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>3%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:12	12	10,17	0,97632	0,97632	0,38918	0,58714	5,337636364	5,337636364	0
0:24	24	12,2	1,1712	2,14752	0,38918	1,36916	12,44690909	12,44690909	0
0:36	36	15,59	1,49664	3,64416	0,38918	2,47662	22,51472727	22,51472727	0
0:48	48	10,85	1,0416	4,68576	0,38918	3,12904	28,44581818	28,44581818	0
1:00	60	7,46	0,71616	5,40192	0,38918	3,45602	31,41836364	31,41836364	0
1:12	72	4,07	0,39072	5,79264	0,38918	3,45756	31,43236364	31,43236364	0
1:24	84	4,07	0,39072	6,18336	0,38918	3,4591	31,44636364	31,44636364	0
1:36	96	2,03	0,19488	6,37824	0,38918	3,2648	29,68	29,68	0
1:48	108	0,68	0,06528	6,44352	0,38918	2,9409	26,73545455	26,73545455	0
2:00	120	0,68	0,06528	6,5088	0,38918	2,617	23,79090909	23,79090909	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE I – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando a Borda Livre (Hc)**

INTERVALO 1	0:12	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,1769	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
<b>HC</b>	<b>10</b>	<b>cm</b>
C	0,85	
Volume de entrada total	6,10	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	4,30	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>29%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2384
0:12	12	10,17	0,9153	0,9153	0,1769	0,7384	10	14,768	0,2384
0:24	24	12,2	1,098	2,0133	0,1769	1,6595	10	33,19	0,9211
0:36	36	15,59	1,4031	3,4164	0,1769	2,8857	10	57,714	1,2262
0:48	48	10,85	0,9765	4,3929	0,1769	3,6853	10	73,706	0,7996
1:00	60	7,46	0,6714	5,0643	0,1769	4,1798	10	83,596	0,4945
1:12	72	4,07	0,3663	5,4306	0,1769	4,3692	10	87,384	0,1894
1:24	84	4,07	0,3663	5,7969	0,1769	4,5586	10	91,172	0,1894
1:36	96	2,03	0,1827	5,9796	0,1769	4,5644	10	91,288	0,0058
1:48	108	0,68	0,0612	6,0408	0,1769	4,4487	7,686	88,974	0
2:00	120	0,68	0,0612	6,102	0,1769	4,333	5,372	86,66	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE J – Análise de Sensibilidade dos Jardins de Chuva de Belo Horizonte, comparado ao Modelo de Referência, para TR = 10 anos e t = 120 min, variando o Coeficiente de Escoamento Superficial**

INTERVALO 1	0:12	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	176,90	mm/h
VI	0,1769	m <sup>3</sup>
Área do jardim	5	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	100	m <sup>2</sup>
HC	45	cm
<b>C</b>	<b>0,5</b>	
Volume de entrada total	3,73	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	0,05	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>99%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:12	12	10,17	0,55935	0,55935	0,1769	0,38245	7,649	7,649	0
0:24	24	12,2	0,671	1,23035	0,1769	0,87655	17,531	17,531	0
0:36	36	15,59	0,85745	2,0878	0,1769	1,5571	31,142	31,142	0
0:48	48	10,85	0,59675	2,68455	0,1769	1,97695	39,539	39,539	0
1:00	60	7,46	0,4103	3,09485	0,1769	2,21035	44,207	44,207	0
1:12	72	4,07	0,22385	3,3187	0,1769	2,2573	45	45,146	0,0073
1:24	84	4,07	0,22385	3,54255	0,1769	2,30425	45	46,085	0,04695
1:36	96	2,03	0,11165	3,6542	0,1769	2,239	43,695	44,78	0
1:48	108	0,68	0,0374	3,6916	0,1769	2,0995	40,905	41,99	0
2:00	120	0,68	0,0374	3,729	0,1769	1,96	38,115	39,2	0

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE K.1 – Diagnóstico da situação real dos jardins de chuva em Belo Horizonte, para TR = 10 anos e t = 120 min, Tipologia Simples**

INTERVALO 1	0:12	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	187,56	mm/h
VI	0,412632	m <sup>3</sup>
Área do jardim	11	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	4066	m <sup>2</sup>
HC	10	cm
C	0,5	
Volume de entrada total	138,58	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	133,36	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>4%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:12	12	10,17	20,78748	20,78748	0,412632	20,374848	10	185,2258909	19,274848
0:24	24	12,2	24,9368	45,72428	0,412632	44,899016	10	408,1728727	24,524168
0:36	36	15,59	31,86596	77,59024	0,412632	76,352344	10	694,1122182	31,453328
0:48	48	10,85	22,1774	99,76764	0,412632	98,117112	10	891,9737455	21,764768
1:00	60	7,46	15,24824	115,01588	0,412632	112,95272	10	1026,842909	14,835608
1:12	72	4,07	8,31908	123,33496	0,412632	120,859168	10	1098,719709	7,906448
1:24	84	4,07	8,31908	131,65404	0,412632	128,765616	10	1170,596509	7,906448
1:36	96	2,03	4,14932	135,80336	0,412632	132,502304	10	1204,5664	3,736688
1:48	108	0,68	1,38992	137,19328	0,412632	133,479592	10	1213,450836	0,977288
2:00	120	0,68	1,38992	138,5832	0,412632	134,45688	10	1222,335273	0,977288

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE K.2 – Diagnóstico da situação real dos jardins de chuva em Belo Horizonte, para TR = 10 anos e t = 120 min, Tipologia Dupla**

INTERVALO 1	0:12	
Intervalo	12	minutos
Taxa de infiltração	187,56	mm/h
VI	0,75024	m <sup>3</sup>
Área do jardim	20	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	2577	m <sup>2</sup>
HC	10	cm
C	0,5	
Volume de entrada total	88,72	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	79,21	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>11%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:12	12	10,17	13,307445	13,307445	0,75024	12,557205	10	62,786025	10,557205
0:24	24	12,2	15,9637	29,271145	0,75024	27,770665	10	138,853325	15,21346
0:36	36	15,59	20,399515	49,67066	0,75024	47,41994	10	237,0997	19,649275
0:48	48	10,85	14,197225	63,867885	0,75024	60,866925	10	304,334625	13,446985
1:00	60	7,46	9,76141	73,629295	0,75024	69,878095	10	349,390475	9,01117
1:12	72	4,07	5,325595	78,95489	0,75024	74,45345	10	372,26725	4,575355
1:24	84	4,07	5,325595	84,280485	0,75024	79,028805	10	395,144025	4,575355
1:36	96	2,03	2,656255	86,93674	0,75024	80,93482	10	404,6741	1,906015
1:48	108	0,68	0,88978	87,82652	0,75024	81,07436	10	405,3718	0,13954
2:00	120	0,68	0,88978	88,7163	0,75024	81,2139	10	406,0695	0,13954

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE L.1 – Eficiência do jardim de chuva da primeira situação hipotética modelada, com TR = 10 anos e t = 10 minutos**

INTERVALO 1	0:01	
Intervalo	1	minutos
Taxa de infiltração	100,00	mm/h
VI	0,015	m <sup>3</sup>
Área do jardim	9	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	180	m <sup>2</sup>
HC	15	cm
C	0,5	
Volume de entrada total	3,21	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	1,71	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>47%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:01	1	4,86	0,48114	0,48114	0,015	0,46614	5,179333333	5,179333333	0
0:02	2	5,83	0,57717	1,05831	0,015	1,02831	11,42566667	11,42566667	0
0:03	3	6,81	0,67419	1,7325	0,015	1,6875	15	18,75	0,3375
0:04	4	4,54	0,44946	2,18196	0,015	2,12196	15	23,57733333	0,43446
0:05	5	3,57	0,35343	2,53539	0,015	2,46039	15	27,33766667	0,33843
0:06	6	2,92	0,28908	2,82447	0,015	2,73447	15	30,383	0,27408
0:07	7	2,27	0,22473	3,0492	0,015	2,9442	15	32,71333333	0,20973
0:08	8	0,97	0,09603	3,14523	0,015	3,02523	15	33,61366667	0,08103
0:09	9	0,32	0,03168	3,17691	0,015	3,04191	15	33,799	0,01668
0:10	10	0,32	0,03168	3,20859	0,015	3,05859	15	33,98433333	0,01668

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

**APÊNDICE L.2 – Eficiência do jardim de chuva da segunda situação hipotética modelada, com TR = 10 anos e t = 30 minutos**

INTERVALO 1	0:03	
Intervalo	3	minutos
Taxa de infiltração	120,00	mm/h
VI	0,252	m <sup>3</sup>
Área do jardim	42	m <sup>2</sup>
Área de contribuição	840	m <sup>2</sup>
HC	30	cm
C	0,8	
Volume de entrada total	32,00	m <sup>3</sup>
Volume extravasado	16,88	m <sup>3</sup>
<b>Eficiência</b>	<b>47%</b>	

Parâmetros			Modelado						
HORA	t	PTOTAL	VE (m <sup>3</sup> )	VE ACUM. (m <sup>3</sup> )	VI	VSUP	hs lim (cm)	hs(cm)	VEXT
0:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0:03	3	6,72	4,79808	4,79808	0,252	4,54608	10,824	10,824	0
0:06	6	8,07	5,76198	10,56006	0,252	10,05606	23,943	23,943	0
0:09	9	9,41	6,71874	17,2788	0,252	16,5228	30	39,34	3,9228
0:12	12	6,28	4,48392	21,76272	0,252	20,75472	30	49,416	4,23192
0:15	15	4,93	3,52002	25,28274	0,252	24,02274	30	57,197	3,26802
0:18	18	4,03	2,87742	28,16016	0,252	26,64816	30	63,448	2,62542
0:21	21	3,14	2,24196	30,40212	0,252	28,63812	30	68,186	1,98996
0:24	24	1,34	0,95676	31,35888	0,252	29,34288	30	69,864	0,70476
0:27	27	0,45	0,3213	31,68018	0,252	29,41218	30	70,029	0,0693
0:30	30	0,45	0,3213	32,00148	0,252	29,48148	30	70,194	0,0693

OBSERVAÇÃO: As células destacadas mostram os parâmetros alterados.

**LEGENDA:**

VI – Volume Infiltrado

Hc – Altura da Borda Livre

C – Coeficiente de escoamento

VE – Volume de Entrada

VE ACUM. – Volume de Entrada Acumulado

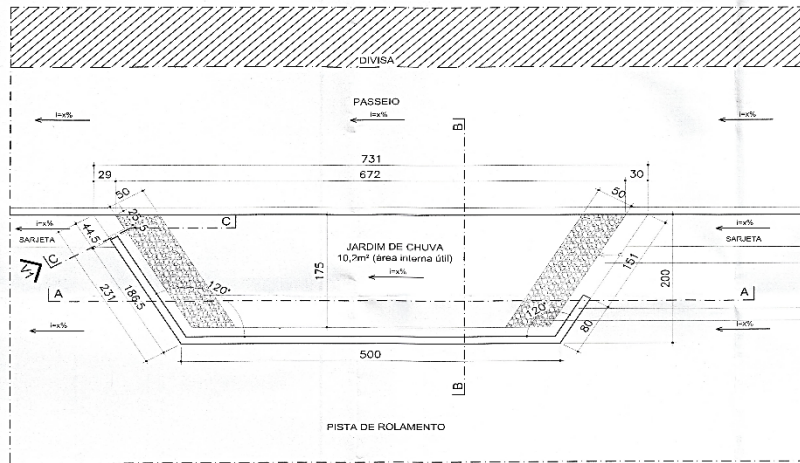
VSUP – Volume Superficial

hs lim – Altura limite da lâmina d'água formada

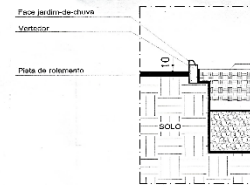
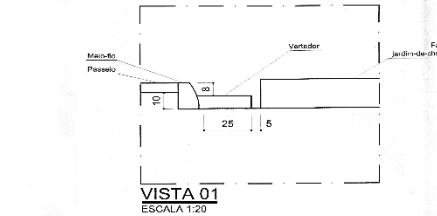
hs – Altura da lâmina d'água formada

VEXT – Volume Extravasado

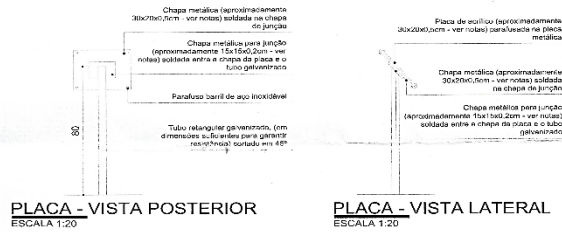
# ANEXO A – Jardim de Chuva - Tipologia Simples



JARDIM-DE-CHUVA - TIPOLOGIA SIMPLES - PLANTA  
ESCALA 1:50

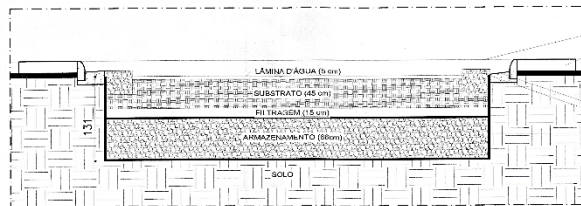


CORTE CC - DET. VERTEDOR  
ESCALA 1:50

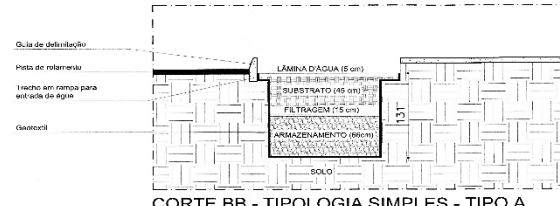


PLACA - VISTA POSTERIOR  
ESCALA 1:20

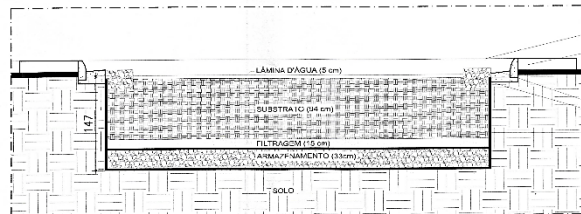
PLACA - VISTA LATERAL  
ESCALA 1:20



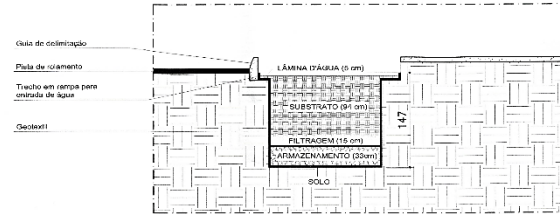
CORTE AA - TIPOLOGIA SIMPLES - TIPO A  
ESCALA 1:50



CORTE BB - TIPOLOGIA SIMPLES - TIPO A  
ESCALA 1:50



CORTE AA - TIPOLOGIA SIMPLES - TIPO B  
ESCALA 1:50



CORTE BB - TIPOLOGIA SIMPLES - TIPO B  
ESCALA 1:50

NOTAS:

- Durante a execução, deve-se levar em conta a presença do lixeiros no passeio, de modo a evitar acidentes durante a coleta realizada pelo serviço de limpeza urbana do município. Nesse caso, pode-se evitar a implantação contígua às lixeiras ou realocá-las, em comum acordo com o morador e respeitando o código de posturas do município;
- Em caso de ausência da sarjeta, deve ser executado um trecho desse dispositivo em dimensões suficientes para direcionar a água pluvial até a entrada do jardim de chuva;
- A placa informativa deve ser instalada em local visível ao transeunte, voltada para o passeio, próximo ao meio-fio;
- As dimensões da placa de acrílico e da chapa metálica soldada na chapa de junção, bem como as informações constantes da placa informativa deverão seguir modelo vigente quando da fase de execução. Para tanto, deve-se consultar o modelo no site da PDI I. Em caso de dúvidas, entrar em contato com a Subsecretaria de Planejamento Urbano, através do e-mail [suplan@pbh.gov.br](mailto:suplan@pbh.gov.br);
- As dimensões das peças estruturais da placa informativa poderão sofrer adaptações e ajustes na fase de execução;
- Os vertedores serão representados de forma preliminar e serão melhor detalhados na fase de execução;
- As medidas de comprimento dos módulos poderão sofrer adaptações e ajustes na fase de execução.



**SECRETARIA MUNICIPAL DE POLÍTICA URBANA**  
SUBSECRETARIA DE PLANEJAMENTO URBANO  
DIRETORIA DE ANÁLISE DE LICENCIAMENTOS URBANÍSTICOS ESPECIAIS - DALU  
DIRETORIA DE URBANISMO E ESPAÇO PÚBLICO - DUEP

**SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS E INFRAESTRUTURA**  
DIRETORIA DE GESTÃO DAS ÁGUAS URBANAS - DGAU

**DADOS DO PROJETO**

NOME DO PROJETO: <b>JARDIM DE CHUVA - TIPOLOGIA SIMPLES</b>		ETAPA	
ENDEREÇO: Não se aplica		CONTEÚDO: Planta, Cortos e Detalhes	
COORDENAÇÃO	EQUIPE TÉCNICA:	ESCALA	
<i>Isaac Henriques de Meeiros</i> ISAAC HENRIQUE DE MEDEIROS (DALU/SUPLAN)	<i>Marcelo Duarte Borges Caixeta</i> MARCELO DUARTE BORGES CAIXETA CAU 0004750220 <i>Valesca Brandão Cerqueira</i> VALESKA BRANDÃO CERQUEIRA CAU 0004319414	<i>Ana Paula Fernandes Viana</i> ANA PAULA FERNANDES VIANA CREA 86528-D <i>Ursula Kelm Caputo</i> URSULA KELM CAPUTO CREA 1027020	INDICADA FOLHA 01/02

