PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

GUSTAVO IZIDRO

PROPOSIÇÕES DE SOLUÇÕES MITIGADORAS PARA O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM REGIÕES A MONTANTE DE MICROBACIAS URBANAS

CAMPINAS

2025

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE POS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM SISTEMAS DE INFRAESTRUTURA URBANA
GUSTAVO IZIDRO

PROPOSIÇÕES DE SOLUÇÕES MITIGADORAS PARA O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM REGIÕES A MONTANTE DE MICROBACIAS URBANAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Sistemas De Infraestrutura Urbana da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica de Campinas como exigência para obtenção do título de Mestre em Sistemas De Infraestrutura Urbana

Orientadora: Prof.a Dr.a Cláudia Cotrim Pezzuto
Coorientador: Dr. Guilherme Theodoro N. P. de Lima

CAMPINAS
2025

Sistema de Bibliotecas e Informação - SBI
Gerador de fichas catalográficas da Universidade PUC-Campinas
Dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Izidro, Gustavo

lundefinedp Proposições de soluções mitigadoras para o manejo de águas pluviais em regiões a montante de microbacias urbanas / Gustavo Izidro. - Campinas: PUC-Campinas, 2025.

154 f.il.

Orientador: Cláudia Cotrim Pezzuto. Coorientador: Guilherme Theodoro N. P. de Lima

Dissertação (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana, Escola Politécnica, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2025.
Inclui bibliografia.

1. Manejo Sustentável de Águas Pluviais. 2. Soluções Baseadas na Natureza. 3. PCSWMM. I. Pezzuto, Cláudia Cotrim. II. N. P. de Lima, Guilherme Theodoro III. Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Escola Politécnica. Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana. IV. Título.

GUSTAVO IZIDRO

PROPOSIÇÕES DE SOLUÇÕES MITIGADORAS PARA O MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM REGIÕES A MONTANTE DE MICROBACIAS URBANAS

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica de Campinas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Área de Concentração: Sistemas de Infraestrutura Urbana.
Orientadora: Profa. Dra. Claúdia Cotrim Pezzuto
Coorientador: Dr. Guilherme Theodoro Nascimento Pereira de Lima

Dissertação defendida e aprovada em 27 de março de 2025 pela Comissão Examinadora constituída dos seguintes professores:

gov.br Documento assinado digitalmente
CLAUDIA COTRIM PEZZUTO
Data: 14/04/2025 15:19:23-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Claúdia Cotrim Pezzuto
Orientador da Dissertação e Presidente da Comissão Examinadora
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

gov.br Documento assinado digitalmente
MARCIUS FABIUS HENRIQUES DE CARVALHO
Data: 14/04/2025 16:27:21-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho
Pontifícia Universidade Católica de Campinas

gov.br Documento assinado digitalmente
MARINA BATALINI DE MACEDO
Data: 15/04/2025 09:57:42-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Marina Batalini de Macedo
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

Dedico este trabalho a minha esposa Andreia, meus filhos Gabriel e Felipe por sempre me incentivar, apoiar e compreender minhas ausências. Dedico também aos meus pais Evaldo e Elizia que sempre me incentivaram nos meus estudos e na minha formação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, minha família, minha esposa e filhos por serem grandes apoiadores do meu trabalho e estudo, por toda compreensão nos momentos de ausência, apoio, carinho e amor em cada momento desta longa caminhada.

À Prof.ª Dr.ª Cláudia Cotrim Pezzuto, pela paciência, orientações e direcionamentos em todos os momentos, me ajudando a compreender meu papel como pesquisador e me ajudando sempre a evoluir.

Ao Dr. Guilherme Theodoro N. P. de Lima, pelas valiosas contribuições em minha pesquisa, me ajudando a compreender a importância da pesquisa e trazendo um olhar crítico, muito importante para a conclusão deste trabalho.

À Prof.ª Dr.ª Lia Toledo Moreira Mota, pelos conhecimentos transmitidos relativos à importância de estudos multidisciplinares para os sistemas de infraestrutura urbana e soluções renováveis de energia.

Ao Prof.º Dr. Marcius Fabius Henriques de Carvalho, pelos conhecimentos transmitidos relativos à manipulação e análise de dados.

À Prof.ª Dr.ª Regina Marcia Longo, pelos conhecimentos transmitidos relativos à importância da qualidade ambiental dos espaços verdes nos centros urbanos.

À Prof.ª Dr.ª Marina Batalini de Macedo, pelas importantes contribuições durante a banca de qualificação e defesa.

À toda a equipe da Prefeitura Municipal de Jundiaí, pelo acolhimento e apoio no fornecimento dos dados e informações necessárias à esta pesquisa.

À empresa Computational Hydraulics Inc. (CHI), Ontário, Canadá pelo apoio no fornecimento da licença do software PCSWMM utilizado nesta pesquisa.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil, Processo nº 2023/09875-1, por meio do Programa de Pesquisa em Políticas Públicas.

À PUC Campinas e o Programa de Pós-graduação em Sistemas de Infraestrutura Urbana pelo suporte e estrutura fornecida ao longo do curso de mestrado.

À empresa Hyzi Engenharia pelo apoio técnico e suporte no desenvolvimento da pesquisa e equipamentos para as simulações computacionais.

À todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento desta pesquisa e em minha formação como mestre.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

RESUMO

O aumento das áreas impermeáveis nos grandes centros urbanos, ocasionado pela intensa urbanização, provoca impactos e mudanças significativas no ciclo hidrológico, tendo em vista que as superfícies permeáveis são essenciais para absorção do escoamento. A mudança na absorção do escoamento, aliada às alterações climáticas, gera alagamentos nos exutórios das bacias, trazendo prejuízos sociais, ambientais e econômicos à população. Atualmente, a utilização de soluções baseadas na natureza tem sido uma importante aliada na mitigação destes impactos, retardando o fluxo das precipitações e modificando a premissa dos projetos tradicionais onde observa-se o afastamento rápido do fluxo em direção aos exutórios. A implantação destas soluções requer espaços livres, o que pode ser um limitante para aplicação em centros urbanos já ocupados, portanto é importante compreender o comportamento destas soluções quando aplicadas de forma descentralizada e em pequena escala nas microbacias urbanas visando um benefício maior na integração destas soluções nas demais regiões da bacia. A presente pesquisa, avalia por meio de modelagem computacional, um recorte urbano na cidade de Jundiaí, São Paulo, com o objetivo de propor a implantação de soluções mitigadoras para possíveis reduções de vazão de pico e volume acumulado. Para essa análise, a metodologia da pesquisa consiste na realização de vistorias ao local obtendo-se os parâmetros necessários às modelagens realizadas com o software Personal Computer Storm Water Management Model. As simulações foram realizadas para a situação atual e para cenários propostos, tanto para a escala do lote quanto para a escala do viário, totalizando 35 cenários com 138 simulações. Ao final das simulações e análises individuais de redução, foram propostos rankings de classificação de eficiência avaliando-se a relação das áreas das soluções implantadas, área disponível no recorte e área total impermeável da bacia com as reduções obtidas. Os cenários com pavimento permeável e combinados apresentaram maiores eficiências na redução da vazão de pico, já os cenários com jardins de chuva apresentaram maiores eficiências para as reduções de volume acumulado, demonstrando a importância de estudos multidisciplinares para a escolha do tipo de solução a ser utilizada como uma análise rigorosa para a definição dos parâmetros de simulação dos materiais utilizados. Os resultados mais expressivos foram observados para chuvas com menor tempo de retorno e maiores capacidade de armazenamento. A pesquisa confirmou a eficiência destas soluções e a importância de estudos de manejo de águas pluviais para áreas a montante de microbacias urbanas auxiliando na regeneração do ciclo hidrológico urbano e trazendo maior qualidade de vida à população.

Palavras-Chave: Manejo Sustentável de Águas Pluviais; Soluções Baseadas na Natureza; Infraestrutura Verde; Drenagem Urbana; SWMM; PCSWMM.

ABSTRACT

The increase in impermeable areas in large urban centers, caused by intense urbanization, causes significant impacts and changes in the hydrological cycle, since permeable surfaces are essential for flow absorption. The change in runoff absorption, combined with climate change, generates flooding in the watershed outlets, bringing social, environmental, and economic damages to the population. Currently, the use of nature-based solutions has been an important ally in mitigating these impacts, delaying the flow of precipitation and modifying the premise of traditional projects where the rapid removal of flow toward the outlets is observed. The implementation of these solutions requires free space, which can be a limiting factor for application in already occupied urban centers, therefore, it is important to understand the behavior of these solutions when applied in a decentralized and small-scale manner in urban micro-watersheds aiming for greater benefits in the integration of these solutions into other regions of the watershed. The present research evaluates, through computational modeling, an urban section in the city of Jundiaí, São Paulo, with the objective of proposing the implementation of mitigation solutions for possible reductions in peak flow and accumulated volume. For this analysis, the research methodology consists of on-site inspections to obtain the necessary parameters for the modeling carried out using the Personal Computer Storm Water Management Model software. The simulations were carried out for the current situation and for proposed scenarios, both at the lot scale and at the street scale, totaling 35 scenarios with 138 simulations. At the end of the simulations and individual reduction analyses, efficiency classification rankings were proposed by evaluating the relationship between the areas of the implemented solutions, the available area in the section, and the total impervious area of the watershed with the reductions obtained. The scenarios with permeable pavement and combined solutions showed greater efficiency in reducing peak flow, while the scenarios with rain gardens showed greater efficiency in reducing accumulated volume, demonstrating the importance of multidisciplinary studies for choosing the type of solution to be used, as well as a rigorous analysis for defining the simulation parameters of the materials used. The most expressive results were observed for rains with shorter return periods and greater storage capacity. The research confirmed the efficiency of these solutions and the importance of stormwater management studies for upstream areas of urban micro-watersheds, assisting in the regeneration of the urban hydrological cycle and bringing greater quality of life to the population.

Keywords: Sustainable Stormwater Management; Nature-Based Solutions; Green Infrastructure; Urban Drainage; SWMM; PCSWMM.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Prejuízo causado pelas chuvas para cada estado brasileiro (R$ milhões)..... 27
Tabela 2. Relação de termos associados às Soluções Baseadas na Natureza 29
Tabela 3. Características de diferentes medidas de controle (MC) 30
Tabela 4. Áreas contribuintes adequadas para diferentes MCs..... 31
Tabela 5. Parâmetros de estudo para diversas publicações..... 41
Tabela 6. Siglas utilizadas para soluções mitigadoras apresentadas nos estudos da Tabela 5 42
Tabela 7. Características das soluções mitigadoras utilizadas pelos estudos descritos na Tabela 5 . 42
Tabela 8. Utilização de soluções mitigadoras e resultados para estudos descritos na Tabela 5. 45
Tabela 9. Temperaturas mínimas, médias e máximas para Jundiaí entre 1991 e 2021 48
Tabela 10. Características dos estudos que utilizaram o posto 2346097 54
Tabela 11. Classificação interna das sub-bacias 61
Tabela 12. Valores de precipitação (mm/h) para DC de 10 minutos e TR de 2, 5, 10 e 25 anos..... 64
Tabela 13. Valores de precipitação (mm/h) para DC de 30 minutos e TR de 2, 5, 10 e 25 anos..... 64
Tabela 14. Valores de precipitação (mm/h) para DC de 60 minutos e TR de 2, 5, 10 e 25 anos..... 64
Tabela 15. Valores de precipitação (mm/h) para DC de 120 minutos e TR de 2, 5, 10 e 25 anos..... 65
Tabela 16. Coeficientes de permeabilidade. 66
Tabela 17. Coeficientes de permeabilidade segundo NBR 16416..... 66
Tabela 18. Coeficiente de permeabilidade a ser utilizado no estudo. 66
Tabela 19. Grupo de solos e características do solo - Parâmetro CN 67
Tabela 20. Valores de CN - bacias urbanas..... 67
Tabela 21. Valores de CN considerados no estudo 68
Tabela 22. Parâmetros necessários à modelagem no PCSWMM. 69
Tabela 23. Dados geométricos das bacias contribuintes 70
Tabela 24. Percentual de áreas permeáveis e impermeáveis para cada bacia..... 71
Tabela 25. Valores de manning "n" e depressões a serem utilizados. 72
Tabela 26. Parâmetros gerais para modelagem no PCSWMM. 72
Tabela 27. Parâmetros específicos das bacias para modelagem no PCSWMM..... 72
Tabela 28. Parâmetros específicos das bacias para modelagem no PCSWMM (continuação)..... 73
Tabela 29. Resultados de VP e VA para Solos tipo A, B e C..... 74
Tabela 30. Análise de Variância para DC 10, 60 e 120 min. para VP..... 75
Tabela 31. Médias para DC 10, 60 e 120 min. para VP 75
Tabela 32. Informações de Agrupamento – Método de Tukey e 95% de Confiança para DC 10, 60 e 120 min. para VP..... 76
Tabela 33. Análise de Variância para DC 10, 60 e 120 min. para VA..... 76
Tabela 34. Médias para DC 10, 60 e 120 min. para VA 76
Tabela 35. Informações de Agrupamento – Método de Tukey e 95% de Confiança para DC 10, 60 e 120 min. Para VA 76
Tabela 36. Resultado das análises de regressão realizadas para VP 77
Tabela 37. Resultado das análises de regressão realizadas para VA 77
Tabela 38. Resultado das análises de regressão realizadas para VP retirando-se o TR 5..... 78
Tabela 39. Resultado das análises de regressão realizadas para VA retirando-se o TR 5..... 78
Tabela 40. Áreas totais, permeáveis e impermeáveis para os lotes, conforme cenário CAL1 79
Tabela 41. Percentuais de área impermeável total e coeficiente CN para o cenário CAL1 79
Tabela 42. Áreas totais, permeáveis e impermeáveis para os lotes, conforme cenário CAL2 80
Tabela 43. Percentuais de área impermeável total e coeficiente CN para o cenário CAL2 80
Tabela 44. Áreas e CN para cenários CB e CBA - Bacia 04..... 81
Tabela 45. Percentual de área impermeável da Bacia 04 para CB e CBA 81
Tabela 46. Informações alteradas da bacia B4 para o CBPP e CBAPP..... 83
Tabela 47. Percentual de área impermeável da Bacia 04 para CBPP e CBAPP 83
Tabela 48. Parâmetros de modelagem relativo a implantação de Pavimento Permeável..... 84
Tabela 49. Informações alteradas na Bacia B4 para os cenários CBJC1, 2, 3, 4, 5 e 6 87
Tabela 50. Informações alteradas na Bacia B4 para os cenários CBAJC 7, 8, 9, 10, 11 e 12..... 88
Tabela 51. Percentual de área impermeável da Bacia 04 para CBAJC1, 2 e 3 88
Tabela 52. Percentual de área impermeável da Bacia 04 para CBAJC4, 5 e 6 88
Tabela 53. Percentual de área impermeável da Bacia 04 para CBAJC7, 8 e 9 88

Tabela 54. Percentual de área impermeável da Bacia 04 para CBAJC10, 11 e 12 88
Tabela 55. Parâmetros de modelagem relativo à implantação de Jardim de Chuva 89
Tabela 56. Resultados de VP e VA para cenários CAL1 e CAL2 99
Tabela 57. Ocupação total das áreas permeáveis e reduções VP e VA dos cenários CAL1 e CAL2 101
Tabela 58. Resultado das análises de regressão linear realizada para VP 101
Tabela 59. Resultado das análises de regressão linear realizada para VA 101
Tabela 60. Reduções de VP e VA para cenários CBPP 1 a 3 e CBAPP 4 a 6 102
Tabela 61. Reduções de VP e VA para cenários CBJC 1 a 6 e CBAJC 7 a 12 105
Tabela 62. Reduções de VP e VA para os cenários CC1 a CC4 109
Tabela 63. Relação percentual de áreas e reduções VP e VA para TR 2, 10 e 25 anos 114
Tabela 64. Ranking 01 para VP e TR 2 anos 118
Tabela 65. Ranking 01 para VP e TR 10 anos 119
Tabela 66. Ranking 01 para VP e TR 25 anos 120
Tabela 67. Ranking 01 para VA e TR 2 anos 121
Tabela 68. Ranking 01 para VA e TR 10 anos 122
Tabela 69. Ranking 01 para VA e TR 25 anos 123
Tabela 70. Relação percentual de áreas e reduções VP e VA para TR 2, 10 e 25 anos 126
Tabela 71. Ranking 02 para VP e TR 2 anos 130
Tabela 72. Ranking 02 para VP e TR 10 anos 131
Tabela 73. Ranking 02 para VP e TR 25 anos 132
Tabela 74. Ranking 02 para VA e TR 2 anos 133
Tabela 75. Ranking 02 para VA e TR 10 anos 134
Tabela 76. Ranking 02 para VA e TR 25 anos 135

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Prós e contras na utilização de pavimentos permeáveis 34
Quadro 2. Prós e contras na utilização de jardins de chuva 39
Quadro 3. Informações das bacias e valores de CN médio ponderado 69
Quadro 4. Características dos cenários combinados CC1 a CC12 92
Quadro 5. Resumo dos cenários simulados 93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Alterações das parcelas do ciclo hidrológico em função da urbanização 23
Figura 2. Efeitos da Urbanização 24
Figura 3. Principais desastres ocorridos nos municípios brasileiros de 2013 a 2023. 25
Figura 4. Quantidade de óbitos ocasionado pelas chuvas de 2013 a 2023. 26
Figura 5. Estrutura do pavimento permeável com infiltração total 32
Figura 6. Estrutura do pavimento permeável com infiltração parcial 33
Figura 7. Estrutura do pavimento permeável sem infiltração 33
Figura 8. Passeio com pavimento permeável e caimento invertido - Frankfurt (Alemanha) 35
Figura 9. Exemplos de jardins de chuva implantados em São Paulo, SP 36
Figura 10. Tipos de jardins de chuva em função de suas características geométricas e posicionamento 37
Figura 11. Estrutura básica de um jardim de chuva. 38
Figura 12. Benefícios dos jardins de chuva 39
Figura 13. Mapa de localização de Jundiaí 48
Figura 14. Bacias hidrográficas do município de Jundiaí 50
Figura 15. Localização do recorte junto às bacias hidrográficas de Jundiaí 50
Figura 16. Localização do recorte de estudo 51
Figura 17. Perfil longitudinal da Av. Jundiaí no trecho de análise 52
Figura 18. Esquema metodológico da pesquisa. 53
Figura 19. Pontos verificados na vistoria 56
Figura 20. Detalhamento do Ponto P1. 57
Figura 21. Detalhamento do Ponto P2. 57
Figura 22. Detalhamento do Ponto P3. 58
Figura 23. Detalhamento do Ponto P4. 58
Figura 24. Características físicas da Av. Jundiaí no trecho de recorte. 59
Figura 25. Bacias de contribuição do recorte de estudo 60
Figura 26. Identificação de áreas permeáveis, impermeáveis da bacia e exutório 62
Figura 27. Modelagem realizada no PCSWMM - Interface do software 73
Figura 28. Resultado de VP para Solos tipo A, B e C 74
Figura 29. Resultado de VA para Solos tipo A, B e C 75
Figura 30. Características físicas da situação atual e cenários CB e CBA 82
Figura 31. Seção transversal do pavimento permeável considerado nos cenários CBPP e CBAPP . 83
Figura 32. Características físicas dos cenários CBPP1, CBPP2 e CBPP3 85
Figura 33. Características físicas dos cenários CBAPP4, CBAPP5 e CBAPP6 85
Figura 34. Seção transversal do jardim de chuva considerado nos cenários CBJC e CBAJC 86
Figura 35. Características físicas dos cenários CBJC1, CBJC2 e CBJC3 90
Figura 36. Características físicas dos cenários CBJC4, CBJC5 e CBJC6 90
Figura 37. Características físicas dos cenários CBAJC7, CBAJC8 E CBAJC9 91
Figura 38. Características físicas dos cenários CBJAC10, CBAJC11 e CBAJC12 91
Figura 39. Análises realizadas 97
Figura 40. Resumo da metodologia para o ranking 01 98
Figura 41. Resumo da metodologia para o Ranking 02 98
Figura 42. Reduções de VP e VA obtidas para cenários CAL1 e CAL2 100
Figura 43. Reduções de VP e VA obtidas para cenários CBPP1, CBPP2 e CBPP3 103
Figura 44. Reduções de VP e VA obtidas para cenários CBAPP4, CBAPP5 e CBAPP6 103
Figura 45. Reduções de VP e VA obtidas para cenários CBJC 1 a 6 106
Figura 46. Reduções de VP e VA obtidas para cenários CBJC 7 a 12 107
Figura 47. Reduções de VP e VA obtidas para cenários CC1 a CC4 110
Figura 48. Reduções de VP e VA obtidas para os cenários CC5 a CC8 111
Figura 49. Reduções de VP e VA obtidas para os cenários CC9 a CC12 112
Figura 50. Resultados para os cenários do viário e redução de VP (TR 2 anos) 115
Figura 51. Resultados para os cenários do viário e redução de VP (TR 10 anos) 115
Figura 52. Resultados para os cenários do viário e redução de VP (TR 25 anos) 116
Figura 53. Resultados para os cenários do viário e redução de VA (TR 2 anos) 116
Figura 54. Resultados para os cenários do viário e redução de VA (TR 10 anos) 117

Figura 55. Resultados para os cenários do viário e redução de VA (TR 25 anos)..... 117
Figura 56. Dendrograma de agrupamento - Ranking 01 - VP - TR 2 anos 118
Figura 57. Dendrograma de agrupamento - Ranking 01 - VP - TR 10 anos 119
Figura 58. Dendrograma de agrupamento - Ranking 01 - VP - TR 25 anos 120
Figura 59. Dendrograma de agrupamento - Ranking 01 - VA - TR 2 anos 121
Figura 60. Dendrograma de agrupamento - Ranking 01 - VA - TR 10 anos 122
Figura 61. Dendrograma de agrupamento - Ranking 01 - VA - TR 25 anos 123
Figura 62. Resultados para os cenários do viário e redução de VP (TR 2 anos)..... 127
Figura 63. Resultados para os cenários do viário e redução de VP (TR 10 anos)..... 127
Figura 64. Resultados para os cenários do viário e redução de VP (TR 25 anos)..... 128
Figura 65. Resultados para os cenários do viário e redução de VA (TR 2 anos)..... 128
Figura 66. Resultados para os cenários do viário e redução de VA (TR 10 anos)..... 129
Figura 67. Resultados para os cenários do viário e redução de VA (TR 25 anos)..... 129
Figura 68. Dendrograma de agrupamento - Ranking 02 - VP - TR 2 anos 130
Figura 69. Dendrograma de agrupamento - Ranking 02 - VP - TR 10 anos 131
Figura 70. Dendrograma de agrupamento - Ranking 02 - VP - TR 25 anos 132
Figura 71. Dendrograma de agrupamento - Ranking 02 - VA - TR 2 anos 133
Figura 72. Dendrograma de agrupamento - Ranking 02 - VA - TR 10 anos 134
Figura 73. Dendrograma de agrupamento - Ranking 02 - VA - TR 25 anos 135

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SWMM	Storm Water Management Model
PCSWMM	Personal Computer Storm Water Management Model
TR	Tempo De Retorno
DC	Duração De Chuva
CN	Curve Number
SEL	Sistemas De Espaços Livres
CNM	Confederação Nacional De Municípios
LID	Low Impact Development Systems
SUD	Sustainable Urban Drainage
GI	Green Infrastructure
Sbn	Soluções Baseadas Na Natureza
MC	Medida De Controle
JC	Jardim De Chuva
PP	Pavimento Permeável
VP	Vazão De Pico
VA	Volume Acumulado
PMJ	Prefeitura Municipal De Jundiaí
ANA	Agência Nacional De Águas
CPRM	Companhia De Pesquisa De Recursos Minerais
IDF	Intensidade, Duração E Frequência
EPAUS	United States Environmental Protection Agency
ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
SCS	U.S. Soil Conservation Servisse
CAL	Cenário Atual Lotes
CB	Cenário Base
CBA	Cenário Base Com Árvores
CBPP	Cenário Base Com Pavimento Permeável
CBAPP	Cenário Base Com Árvores E Pavimento Permeável
CBJC	Cenário Base Com Jardim De Chuva
CBAJC	Cenário Base Com Árvores E Jardim De Chuva
CC	Cenários Combinados

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 16
1.1 Objetivo 18
1.1.1 Objetivo Geral 18
1.1.2 Objetivos Específicos 18
1.2 Estrutura da dissertação 19
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 20
2.1 A problemática da expansão urbana 20
2.2 Águas urbanas 22
2.3 O manejo sustentável de águas pluviais e as soluções mitigadoras 28
2.3.1 Pavimento permeável como solução mitigadora 31
2.3.2 Jardim de chuva como solução mitigadora 35
2.4 Impacto das soluções mitigadoras no manejo de águas pluviais 40
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 47
3.1 Caracterização climática e pedológica da área de estudo 48
3.2 Definição do recorte de estudo 49
3.2.1 Bacias hidrográficas da área de estudo 49
3.2.2 Justificativa da escolha do recorte de estudo 51
4. METODOLOGIA 53
4.1 Coleta de Dados 53
4.1.1 Dados Ambientais – Modelo Hidrológico 53
4.1.2 Dados Físicos – Vistoria 55
4.1.3 Dados físicos – Sub-bacias, áreas permeáveis, impermeáveis e exutório 59
4.1.4 Definição dos parâmetros de input 62
4.1.4.1 Parâmetros hidrológicos 63
4.1.4.2 Parâmetros hidráulicos 65
4.1.4.2.1 Coeficientes de impermeabilização e infiltração 65
4.1.4.2.2 Caracterização geral das sub-bacias contribuintes 69
4.1.4.2.3 Áreas totais, largura média e declividade das sub-bacias contribuintes 70
4.1.4.2.4 Percentual de áreas permeáveis e impermeáveis para cada bacia 70
4.1.4.2.5 Coeficiente de rugosidade manning “n” para áreas permeáveis e impermeáveis das sub-bacias e alturas de armazenamento em depressões. 71
4.2 Sensibilidade dos parâmetros de input para a situação atual: Parâmetros Hidrológicos e Coeficiente CN 72
4.2.1 Definição do grupo de solo (CN) 74
4.2.2 Definição da Duração de Chuva (DC) 77
4.2.3 Tempo de retorno (TR) 78
4.3 Cenários de estudo 78
4.3.1 Cenários para escala de Lote - CAL1 e CAL2 79
4.3.2 Cenários para escala do viário 80
4.3.2.1 Cenário Base – CB e Cenário Base Árvores - CBA 80

4.3.2.2 Cenário Base com Pavimento Permeável – CBPP e Cenário Base Árvore com Pavimento Permeável - CBAPP 82
4.3.2.3 Cenário base com Jardim de Chuva – CBJC e Cenário base árvores com Jardim de Chuva – CBAJC 85
4.3.3 Cenários Combinados – CC 92
4.3.4 Resumo geral dos cenários 93
4.4 Análise da eficiência hidráulica dos cenários 96
5. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO 99
5.1 Análise dos cenários com escala de lote - CAL1 e CAL2 99
5.2 Análise da eficiência linear total por TR para cenários CAL1 e CAL2 101
5.3 Análise dos cenários escala do viário - CBPP 1, 2, 3 e CBAPP 4, 5 e 6 102
5.4 Análise dos cenários escala do viário - CBJC 1 a 6 e CBAJC 7 a 12 104
5.5 Análise dos cenários combinados - CC1 a CC12 108
5.6 Ranking 1 - Eficiência hidráulica em função da área disponível no recorte 113
5.7 Ranking 02 - Eficiência hidráulica em função da área impermeável total 125
5.8 Análises comparativas com estudos similares – estado da arte 137
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 139
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 146

1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana, sem o planejamento adequado dos sistemas de infraestrutura urbana, traz diversos problemas para a população. Essa expansão, atrelada às alterações climáticas que têm modificado o comportamento hidrológico das precipitações, gera um total desequilíbrio no ciclo hidrológico devido às altas taxas de impermeabilização, ocasionando aumento do escoamento superficial e, consequentemente fenômenos como enchentes, inundações e alagamentos. (Suresh; Pekkat; Subbiah, 2023; Ferreira, 2019; Tzoulas et al., 2007).

Para o estudo de soluções mitigadoras adequadas para estes fenômenos faz-se necessário a compreensão dos conceitos de alagamento, inundação e enchentes. Define-se como alagamento o acúmulo de água nas ruas e perímetros urbanos de forma isolada, ocasionada por problemas ou insuficiência dos sistemas de drenagem urbana. As inundações são fenômenos que ocorrem quando o fluxo de um rio ou canal transborda, atingindo áreas de planícies e áreas de várzea ao redor e as enchentes são os fenômenos que ocorrem quando o nível dos cursos d'água sobem temporariamente por conta do aumento do fluxo e apesar de atingir seu ponto máximo não ocorre transbordamento (Gov.br, 2025).

Atualmente são encontrados padrões de crescimento urbano que mostram-se quase sempre insustentáveis pois, além dos problemas de manejo de águas pluviais, geram diversos problemas com os serviços de infraestrutura, e sua qualidade, fornecidos pelos municípios com o objetivo de absorver o aumento de demanda da população. Os usuários, acabam desenvolvendo, por necessidade de ocupação, um consumo de recursos naturais e do espaço público de forma muito intensa e desordenada (Tardin, 2018).

Para minimizar esses problemas e garantir o direito ao uso dos espaços na cidade de forma racional por parte da população, o poder público, em suas propostas de planejamento, realiza esforços para manter intervenções de transformação do espaço urbano. Essas intervenções são baseadas na construção de equipamentos públicos, habitação de interesse social e infraestruturas urbanas em geral como coleta de lixo, pavimentação e calçamento de vias, iluminação pública, redes de saneamento, entre outras (Oliveira; Quaresma, 2022).

Ao longo da história, os sistemas de manejo de águas pluviais foram considerados de forma isolada, baseado na utilização de sistemas de infraestruturas

cinzas (tubulações em concreto, canais fechados, entre outros). Estes sistemas eram projetados sob uma visão higienista que previa o afastamento rápido do escoamento gerado pelas chuvas para os pontos a jusante reduzindo o tempo de concentração e aumentando a vazão de pico. (Canholi, 2015;Boongaling et al., 2024)

A utilização de estratégias de adaptação das infraestruturas existentes, tradicionalmente conhecidas como infraestruturas cinzas, para combater e reduzir os efeitos negativos causados pela urbanização, pode ser complementada por soluções mitigadoras de infraestruturas verdes. Essas soluções incluem a implantação de pavimentos permeáveis, jardins de chuva, valas de infiltração, canteiros pluviais ou até mesmo variações nos percentuais de áreas permeáveis na escala de lote. Tais estratégias podem reduzir os problemas de manejo de águas pluviais e proporcionar benefícios para toda a população com relação a saúde e qualidade de vida. (Guimarães et al., 2018; Ferrans et al., 2023).

Atualmente, diversos estudos (Kourtis; Tsihrintzis; Baltas, 2020;Yang et al., 2023; Christo, 2021; Boongaling et al., 2024) têm sido realizados com o objetivo de avaliar soluções diversas de manejo de águas pluviais, utilizando soluções mitigadoras para regiões que já possuem um histórico de cheias e alagamentos. Essas soluções são propostas de formas diversas, às vezes junto ao exutório da bacia, outras vezes de forma distribuída na bacia, mas sempre com intuito de trazer uma solução a locais já afetados e problemáticos.

A definição do tipo de solução mitigadora a ser utilizada passa pela análise de diversas variáveis, como parâmetros hidrológicos e características físicas da bacia de contribuição analisada. Um importante recurso para a escolha e análise da eficiência destas soluções é a utilização de modelagens computacionais, que permitem avaliar cenários diversos, auxiliando na tomada de decisão para a escolha mais adequada da solução (Arjenaki *et al.*, 2021).

Com base nisso, esta pesquisa visa propor a utilização de soluções mitigadoras avaliando suas eficiências como possibilidade para redução das vazões de pico e volumes acumulados, quando aplicadas a montante em microbacias urbanas. Atualmente verificamos um aumento significativo da intensidade das chuvas devido as alterações climáticas (Rosenzweig et al., 2024; Salubi et al., 2025) demonstrando a importância de estudos para adaptação das cidades para o planejamento e manejo de águas pluviais.

O local de estudo será no município de Jundiaí, estado de São Paulo, e mediante a caracterização das bacias contribuintes e suas características físicas, serão realizadas modelagens computacionais com o software *PCSWMM* para diferentes cenários.

Espera-se, ao final da presente pesquisa, a confirmação da hipótese de que a utilização de soluções mitigadoras de forma descentralizada na bacia, aplicadas nas regiões a montante, pode apresentar impactos positivos na redução da vazão e volume final no exutório da microbacia.

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação é propor soluções mitigadoras isoladamente ou em conjunto para regiões a montante da bacia contribuinte, visando avaliar possíveis reduções de vazões e volumes no exutório de microbacias urbanas.

1.1.2 Objetivos Específicos

Visando atingir o objetivo geral foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o impacto da variação de parâmetros hidrológicos (TR e DC) nos resultados das vazões e volumes finais no exutório de microbacias urbanas.
- Analisar o impacto da utilização de diferentes percentuais de área permeável no interior de lotes nos resultados das vazões e volumes finais no exutório de microbacias urbanas.
- Analisar o impacto da utilização de diferentes parâmetros de infiltração (CN – Curve Number) para áreas permeáveis nos resultados das vazões e volumes finais no exutório de microbacias urbanas.
- Analisar o impacto da combinação de diferentes soluções mitigadoras nos resultados das vazões e volumes finais no exutório de microbacias urbanas.
- Elaborar um ranking de classificação para a eficiência hidráulica dos cenários simulados.

1.2 Estrutura da dissertação

A dissertação está estruturada em 6 capítulos, sendo inicialmente a introdução que apresenta a contextualização geral do problema a ser estudado, além das lacunas do conhecimento e estudos recentes relativos ao tema e os objetivos gerais e específicos.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica fundamentando os conceitos e temas abordados ao longo do estudo. A revisão bibliográfica demonstra também como encontra-se o conhecimento atual (estado da arte) relacionado aos temas do estudo, embasando desta forma, as análises de resultado e conclusão apresentadas.

O capítulo 3 apresenta a caracterização da área de estudo demonstrando os dados físicos, climáticos, hidrológicos e pedológicos da região bem como demais informações para compreensão das características relevantes da região de estudo e a justificativa para escolha do recorte.

O capítulo 4 apresenta a metodologia da pesquisa descrevendo o método realizado para obter as características locais do recorte bem como a obtenção de todos os parâmetros para utilização na modelagem com o software PCSWMM.

O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos com as simulações bem como as análises e discussões sobre os resultados, embasando as conclusões que serão apresentadas no capítulo seguinte.

O capítulo 6 apresenta as considerações finais da pesquisa obtidas através da interpretação dos resultados apresentados no capítulo 5 bem como o embasamento teórico apresentado no capítulo 2.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A problemática da expansão urbana

A expansão urbana ocorrida nas cidades em todo o mundo representa uma das mudanças mais significativas da sociedade contemporânea. Este crescimento faz com que áreas rurais sejam modificadas com a expansão de borda, trazendo grandes preocupações com relação a sustentabilidade da expansão urbana e seus impactos. (Salem; Tsurusaki, 2024; Ben Messaoud et al., 2024).

O controle sobre o crescimento das cidades é um grande desafio para os órgãos governamentais. Um estudo realizado para cidades na China avaliou a evolução das aglomerações urbanas chinesas e como esta expansão se desvia das legislações locais. O estudo conclui que, mesmo com programas de controle implantado pelo governo com políticas rigorosas de crescimento e expansão, diversos desvios continuam ocorrendo (Cai *et al.*, 2024).

Atualmente, as megacidades (cidades com mais de 10 milhões de habitantes) localizadas em países subdesenvolvidos, seguem em franco crescimento e expansão trazendo cada vez mais problemas à população. Em cidades localizadas próximo a cursos d'água, os problemas são ainda maiores devido à sensibilidade dos sistemas de saneamento e recursos hídricos. Estes problemas também são encontrados nas megacidades de países desenvolvidos que, mesmo com a diminuição do crescimento, deixou como herança grandes desafios à população como tráfego elevado, congestionamentos, crises energéticas e degradação de recursos naturais. (Wu *et al.*, 2024).

O crescimento urbano traz um aumento significativo da pressão sobre a utilização de recursos naturais e espaços públicos, ocasionando um ataque significativo sobre a qualidade ambiental e social das cidades. Esse aumento nem sempre é acompanhado pelo crescimento da infraestrutura dos municípios, trazendo uma grande dificuldade para a obtenção do equilíbrio entre o desenvolvimento da cidade, questões sociais e a sustentabilidade ambiental. (Rafael *et al.*, 2013).

Esta falta de equilíbrio de sustentabilidade ambiental, social e desenvolvimento das cidades, também é visto claramente quando avaliamos o fato de que, à medida que a uma cidade cresce, diversas transformações no ambiente ocorrem, como mudanças em cursos d'água, ocupações de áreas de encostas ou margens dos rios.

Tais mudanças causam uma degradação considerável em áreas de mananciais e áreas de proteção permanente e protegidas (Lima; Lopes; Façanha, 2019).

É inegável o fato que a utilização cada vez maior de recursos naturais e espaços públicos, muitas vezes de forma desordenada, traz considerável degradação ambiental. Estas degradações foram iniciadas pela intensa migração da população rural para urbana em um curto espaço de tempo como ocorreu ao longo da história da urbanização brasileira, em que populações de regiões rurais viam nas regiões urbanas a possibilidade de uma melhor qualidade de vida (Stanganini; Lollo, 2018).

Com o desenvolvimento destas regiões e agrupamento de populações em regiões que não possuíram, na época do seu planejamento, uma visão de integração entre os espaços e a população, nota-se no interior destes grandes centros urbanos áreas vazias, remanescentes, chamadas de vazios urbanos. Esses vazios integram, por sua vez, os SELs, elementos de extrema importância para a recuperação e integração da paisagem urbana e ambiental. Esses vazios urbanos podem ser identificados como espaços residuais e estão presentes em diversas regiões da malha urbana. A não utilização destes espaços pode trazer problemas a população ao redor devido a ocupações irregulares ou acúmulo de lixo. (Alves; Bueno, 2022).

O crescimento populacional e o desenvolvimento urbano sofreram forte aceleração na segunda metade do século XX devido à alta concentração de populações em espaços reduzidos. Isso produziu uma grande competição pelos recursos naturais, como solo e água. O controle dos efeitos interligados causados por esta pressão populacional sobre os recursos naturais pode levar as cidades ao caos urbano. Estudos de gestão ambiental e planejamento estratégico das cidades precisam buscar um balanceamento entre o bem-estar humano e o ambiente em que vivemos, considerando a complexa interação com outros sistemas periféricos que afetam o conjunto do bem-estar social e ambiental (Lima; Lopes; Façanha, 2019).

Um estudo realizado no Vale do Catmandu, Nepal, utilizando modelagens computacionais, demonstrou que o crescimento urbano e a alteração no uso e ocupação do solo resultaram em um aumento significativo de áreas impermeáveis. Além disso, a invasão das margens dos rios contribuiu para o aumento das áreas inundáveis na região central do vale. O aumento da ocupação dessas áreas próximas aos rios (áreas de várzea) mostrou-se como a principal variável para o aumento dos níveis de alagamentos e enchentes, demonstrando a importância da proteção dessas áreas nos planejamentos urbanos (Danegulu *et al.*, 2024).

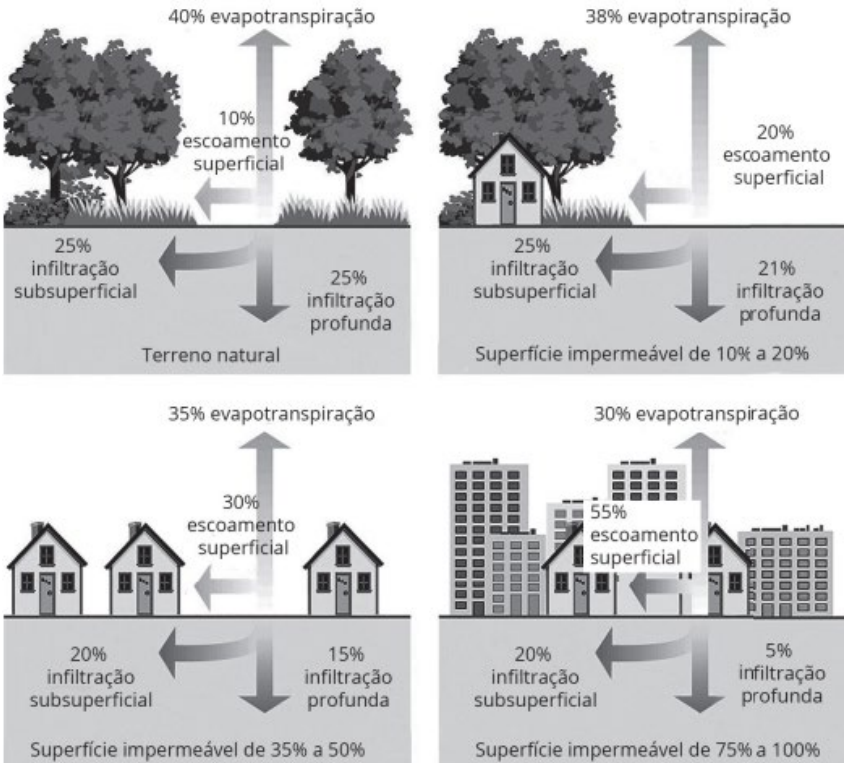
Sob a perspectiva das águas urbanas, é evidente que a expansão urbana desordenada traz diversos problemas à população. Portanto, é crucial integrar políticas de manejo de águas pluviais nos programas de planejamento urbano, visando sistemas resilientes para o combate às inundações, enchentes e alagamentos.

2.2 Águas urbanas

A água no ambiente urbano está associada a sistemas com características e objetivos distintos, incluindo mananciais para fornecimento de água, sistemas de abastecimento, saneamento, soluções de drenagem urbana e controle de inundações (Tucci, 2005). A rápida urbanização traz efeitos desastrosos e dramáticos à água no ambiente urbano devido a transformação de áreas permeáveis em áreas impermeáveis onde a resposta hidrológica da bacia se altera devido a importância destas superfícies na absorção do escoamento por infiltração que, sem a possibilidade de infiltrar, aumenta gradativamente trazendo grandes vazões de pico e volumes acumulados junto aos exutórios (Nazarpour; Gnecco; Palla, 2023).

A **Figura 1** apresenta o impacto da urbanização e impermeabilização do solo para o funcionamento do ciclo hidrológico. É importante ressaltar que as águas provenientes das chuvas não atingem diretamente o solo devido à evaporação instantânea ou à retenção em vegetações e demais obstáculos. O volume que finalmente atinge o solo pode ainda infiltrar ou ser armazenado por depressões naturais e artificiais existentes nas bacias. Após todos esses processos, o excedente precipitado segue como escoamento superficial dentro da bacia contribuinte, partindo das regiões de montante em direção às regiões de jusante.

Figura 1. Alterações das parcelas do ciclo hidrológico em função da urbanização

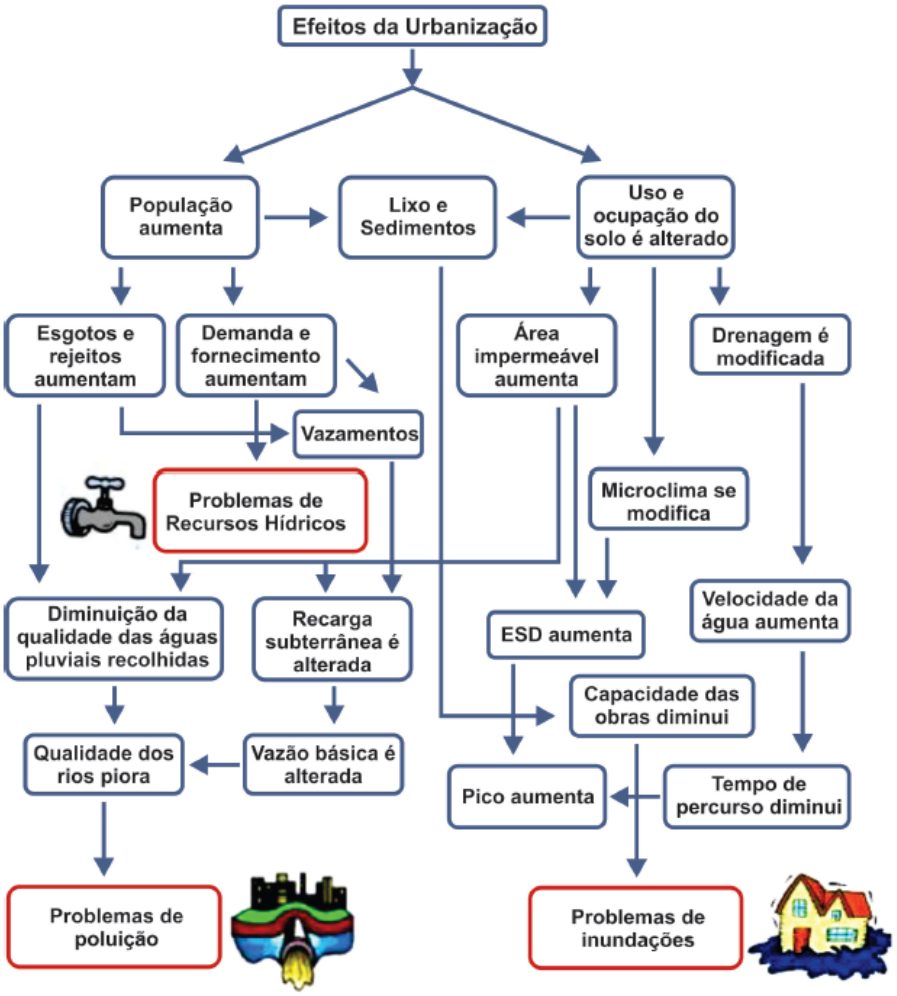


Fonte: Costa (2021)

A urbanização excessiva nas cidades e o aumento das superfícies impermeáveis desequilibram o ciclo hidrológico, reduzindo o potencial de infiltração e gerando escoamentos não previstos, além de aumentar consideravelmente os picos de vazão e, consequentemente, as enchentes. Colaborando com esse fenômeno, as várzeas dos rios dentro das grandes cidades são tomadas por vias de circulação e ocupação urbana, perdendo sua função de permissão ao alagamento e infiltração. Quando esses cursos d'água são canalizados, o escoamento é acelerado, diminuindo o tempo de concentração das bacias, ocasionando o aumento da intensidade e os picos de cheia (Canholi, 2015).

A **Figura 2** apresenta o efeito produzido pela urbanização nas cidades gerando problemas nos recursos hídricos, inundações e poluição. Nota-se que além dos impactos de ordem hidrológica, temos um aumento considerável na produção de lixos pelo aumento da população e sedimentos que são carreados pelos fluxos de escoamento superficial aumentados, ocasionando obstrução dos sistemas de manejo de águas pluviais diminuindo sua capacidade. (SMDU; FCTH; PMSP, 2012).

Figura 2. Efeitos da Urbanização



Fonte: Adaptado de SMDU; FCTH; PMSP (2012)

Um estudo realizado na cidade de Mandra, na Grécia, relatou uma inundação ocorrida em novembro de 2017 como sendo a mais mortal do país nos últimos 40 anos. A bacia de contribuição atingida por esse evento histórico possui como característica principal o posicionamento da mancha urbana a jusante dos cursos d'água principais. O evento teve uma duração de 6 horas, um TR de cerca de 500 anos revelando o potencial destrutivo da combinação de eventos pluviométricos históricos com a ocupação urbana em regiões a jusante da bacia de contribuição resultando resultou na perda de 23 vidas (Diakakis *et al.*, 2020).

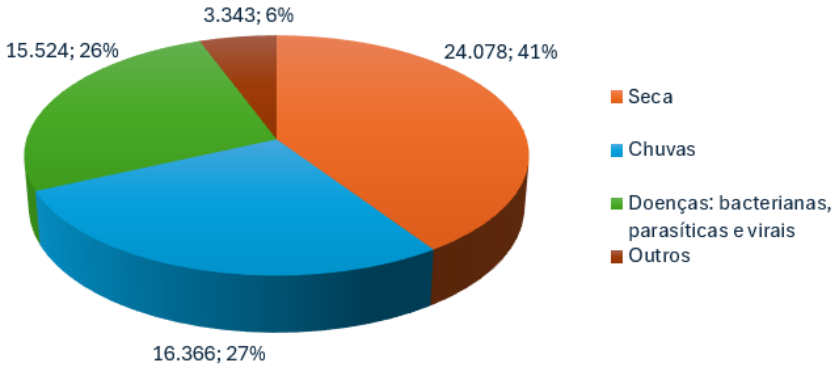
É notória a compreensão das atuais mudanças climáticas e sua influência na mudança do comportamento hidrológico. Segundo Ngcamu (2023), uma sequência de inundações ocorridas em províncias costeiras na África do Sul foi associada a alterações climáticas mediante coleta de dados e realização de entrevistas

presenciais com partes interessadas. Seu estudo demonstrou que o governo local não conseguiu incorporar as alterações climáticas em seus programas de gestão de desastres, evidenciando que o conjunto formado por estas alterações, urbanização descontrolada sem infraestrutura adequada, pobreza e desigualdade pode ocasionar catástrofes históricas. Um exemplo ocorreu em abril de 2022, em uma província localizada na África do Sul, resultando em 435 mortes, 55 feridos e 54 desaparecidos, além de danos materiais estimados em 17 bilhões de rand sul-africano (cerca de 920 milhões de dólares).

Para compreensão do cenário nacional, é necessário a análise das publicações da CNM. A CNM é uma instituição independente, apartidária e sem fins lucrativos, que, desde o ano de 1980, consolida informações municipais e promove o fortalecimento da autonomia municipal por meio de iniciativas políticas e técnicas para otimizar a gestão e melhorar a qualidade de vida da população.

O estudo técnico da Defesa Civil (CNM,2023), apresenta os danos e prejuízos causados por desastres no Brasil para o período de 2013 a 2023. Dentre os principais desastres ocorridos nos municípios brasileiros nesse período que ocasionaram decretação de situação de emergência, as chuvas representam 27% do total considerando os impactos causados pelas enchentes e inundações, ficando atrás somente dos desastres causadas por seca, com 41% considerando os impactos das queimadas e baixa humidade do ar, conforme demonstrado na **Figura 3**.

Figura 3. Principais desastres ocorridos nos municípios brasileiros de 2013 a 2023.

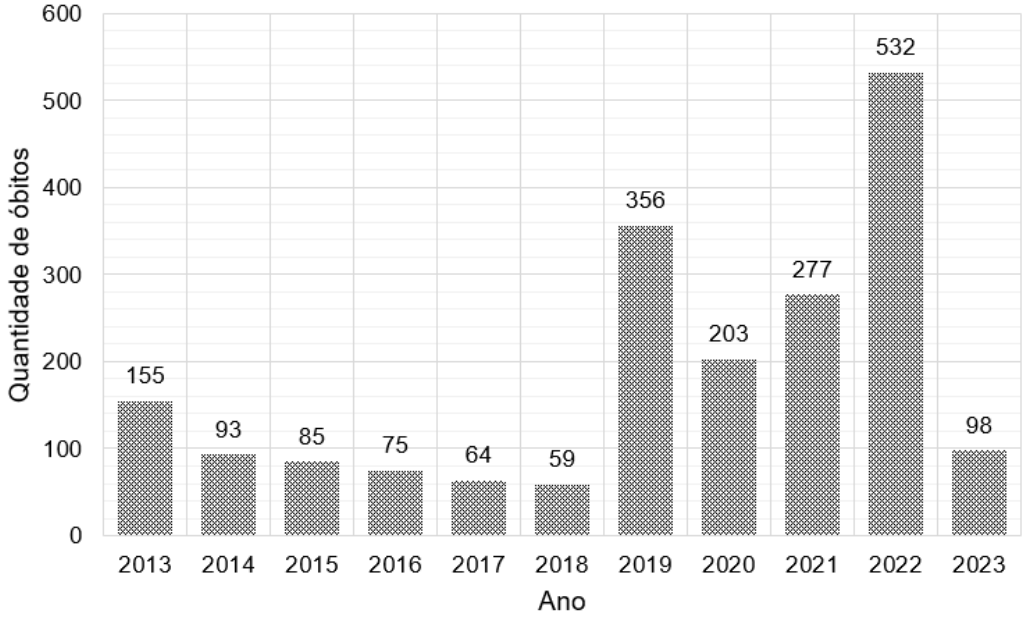


Fonte: Adaptado de CNM (2023)

O estudo técnico citado demonstra ainda o total de mortes causadas pelas chuvas no período do estudo (2013 a 2023), somando um total de 1.997 mortes. No

entanto, conforme pode ser observado na **Figura 4**, após o ano de 2019, houve um aumento considerável em comparação aos anos anteriores. O ano de 2022 representou um pico nos óbitos decorrentes das chuvas, com perdas de 532 vidas, número que corresponde a 26,60% do total de mortes para o período de 10 anos avaliado. É importante ressaltar que para o ano de 2023, o levantamento considerou o período de 1º de janeiro a 24 de maio justificando o baixo resultado.

Figura 4. Quantidade de óbitos ocasionado pelas chuvas de 2013 a 2023.



Fonte: Adaptado de CNM (2023)

Quando são avaliados os prejuízos financeiros causados pelas chuvas aos municípios, o estudo da CNM mostra que os prejuízos chegam a R$ 79,3 bilhões em todo o Brasil para o período de 2013 a 2023, representando 19,70% do total dos prejuízos causados por todos os tipos de desastres ocorridos no país, que atingem R$ 401,30 bilhões (CNM, 2023). A **Tabela 1** apresenta os prejuízos causados pelas chuvas (em milhões de reais) organizados por estado. É possível observar que os estados de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso representam 50% do total de prejuízo para todos os estados brasileiros.

Tabela 1. Prejuízo causado pelas chuvas para cada estado brasileiro (R$ milhões)

UF	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total
AC	0	0	27	0	7	0	3	0	75	16	0	128
AL	0	0	2	2	121	1	1.305	2.623	3.525	414	0	7.993
AM	0	0	18	1	202	62	153	1	300	299	0	1.036
AP	0	0	0	0	5	0	0	0	3	2	0	10
BA	0	0	7	159	40	32	22	31	1.143	234	4	1.672
CE	0	0	18	1	31	2	24	60	7	42	0	185
DF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ES	0	0	19	22	6	46	76	601	70	142	42	1.024
GO	0	0	0	3	66	12	2	10	54	32	0	179
MA	0	0	0	0	8	18	60	66	9	152	6	319
MG	0	0	475	101	89	44	487	585	4.038	7.700	207	13.726
MS	0	0	201	406	67	441	20	5	3.840	23	0	5.003
MT	0	0	3	17	311	177	129	41	8.520	931	5	10.134
PA	0	0	0	11	171	281	444	106	581	276	11	1.881
PB	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	3
PE	0	0	0	120	154	1	5	37	6	1.271	0	1.594
PI	0	0	0	6	1	20	84	9	1	24	0	145
PR	0	0	268	671	86	140	10	97	366	776	0	2.414
RJ	0	0	7	103	5	17	217	92	17	818	8	1.284
RN	0	0	0	0	0	4	1	0	1	98	0	104
RO	0	0	0	1	9	4	4	4	1	5	0	28
RR	0	0	0	0	2	2	0	0	15	1	0	20
RS	0	9	2.783	1.677	1.667	347	1.325	270	337	282	36	8.733
SC	0	4	1.445	244	445	144	161	944	390	1.414	45	5.236
SE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	12
SP	0	0	53	433	91	44	5.155	91	35	218	9.909	16.029
TO	0	0	0	0	1	400	0	0	26	57	0	484
TOTAL	0	13	5.326	3.978	3.587	2.239	9.687	5.673	23.361	15.239	10.273	79.376

Fonte: Adaptado de CNM (2023)

Por fim, o estudo reforça que a falta de recursos para prevenção de desastres é um dos principais motivos para a recorrência de problemas pois, na prática, só se atua na resposta aos problemas, o que coloca um grande peso sobre os municípios.

Cabe mencionar ainda o ocorrido recente no Estado do Rio Grande do Sul, em maio de 2024. Em poucos dias, precipitações históricas atingiram a região, sendo agravadas por correntes intensas de vento, um corredor de umidade vindo da Amazonia e um bloqueio atmosférico devido às ondas de calor. (CNN Brasil, 2024).

Segundo CNM (2024) até o dia 14 de junho de 2024, a região acumulou 175 óbitos, 38 desaparecidos, 11,4mil feridos e enfermos, 98,1 mil desabrigados e um total de 4,2 milhões de pessoas afetadas. Os prejuízos financeiros atingiram um total de R$ 12,2 bilhões para os municípios atingidos.

A conclusão do estudo apresentado pela CNM, bem como todos os demais estudos apresentados, reforçam a ideia de que o combate aos efeitos prejudiciais às cidades, trazidos pelas grandes enchentes, inundações e alagamentos, é de extrema importância e a busca por soluções e práticas inovadoras e sustentáveis precisa ser avaliada de forma incisiva.

2.3 O manejo sustentável de águas pluviais e as soluções mitigadoras

A utilização de soluções mitigadoras sustentáveis, podendo ser denominadas como LIDs *(Low Impact Development Systems* – Sistemas de desenvolvimento de baixo impacto*),* SUDs (*Sustainable Urban Drainage* – Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável*)* ou ainda *GI (Green Infrastructure* – Infraestrutura Verde), vêm ganhando destaque em nível global nos últimos anos por mostrar-se como uma importante solução na busca pela redução de escoamentos superficiais na escala dos lotes e também para alívio do acúmulo de vazão no sistema público de drenagem (Zhang et al., 2023; Jiang; McBean, 2021; Reu Junqueira; Serrao-Neumann; White, 2022).

Estas soluções mitigadoras sustentáveis fazem parte da conceitualização do termo SbN – Soluções Baseadas na Natureza, onde ao final do século XX, ocorreu um importante crescimento sobre o interesse da comunidade científica em análises sobre questões de biodiversidade e seus serviços ecossistêmicos para o suporte a vida humana. No ano de 2002, através das primeiras citações do termo pelo Banco Mundial em suas publicações, surge o termo SbN sendo que a União Internacional para Conservação de Natureza (IUCN) definiu o termo como “ações para proteger, administrar de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados”. Estas medidas buscam tratar de forma eficaz os desafios sociais, desastres naturais e alterações climáticas gerando qualidade de vida para população e manutenção da biodiversidade (Fraga, 2021; Cohen et al., 2016).

A utilização do termo SbN mostra-se abrangente e coletivo, com o objetivo de representar soluções inovadoras e sustentáveis destinadas a resolver problemas ambientais e sociais baseando-se em processos naturais. Com base nisso, este termo é considerado um “conceito guarda-chuva” pois pode abranger uma grande variedade de denominações e terminologias devido ao conceito da solução, suas diferentes abordagens, questões políticas e evoluções na literatura científica que trata destes temas. Essa abrangência metodológica, trouxe diferentes terminologias, e a **Tabela 2** apresenta os termos que são comumente utilizados em publicações científicas com o foco em estudos de planejamento urbano ambiental, hidráulicos e hidrológicos (Ruangpan *et al.*, 2020).

Tabela 2. Relação de termos associados às Soluções Baseadas na Natureza

Terminologia	Definição, objetivos e propósito
Low Impact Development (LIDs) Urbanização de Baixo Impacto	LID é usado como uma abordagem retroativa destinada a reduzir o estresse na infraestrutura de águas pluviais urbanas e/ou criar resiliência para se adaptar às mudanças climáticas. O LID baseia-se fortemente na infiltração e evapotranspiração e tenta incorporar recursos naturais no design.
Sustainable Urban Drainage Systems (SUDs) Sistemas Sustentáveis de Drenagem Urbana	Replicar os processos naturais de drenagem de uma área – normalmente por meio do uso de intervenções baseadas em vegetação, como valas, jardins de chuva e telhados verdes, que aumentam a infiltração localizada, atenuação e/ou retenção de águas pluviais.
Green Infrastructure (GI) Infraestrutura Verde	Rede de áreas naturais e semi-naturais interligadas ou não, caracterizadas por espaços verdes em áreas rurais e urbanas e em ecossistemas terrestres, de água doce, costeiros e marinhos, que, em conjunto, aumentam a saúde e a resiliência dos ecossistemas, contribuem para a conservação da biodiversidade e beneficiam populações humanas por meio da manutenção e do aprimoramento dos serviços ecossistêmicos.
Nature-based Solution (NBS) Soluções Baseadas na Natureza	As SBNs visam ajudar as sociedades a enfrentarem uma variedade de desafios ambientais, sociais e econômicos de forma sustentável. São ações inspiradas ou copiadas da natureza, mas que utilizam e aprimoram soluções existentes para os desafios, além de explorar novas soluções inovadoras.

Fonte: Adaptado de Ruangpan et al. (2020)

Conforme **Tabela 2**, o manejo sustentável de águas pluviais com suas possíveis soluções mitigadoras, por estarem inseridas no conceito de SbNs podem receber diferentes denominações. Tal fato pode ser observado quando diferentes estudos que utilizam as mesmas soluções com foco em resolução de problemas de drenagem urbana, apresentam diferentes terminologias (Malaviya; Sharma; Sharma, 2019; Joshi et al., 2021).

Canholi (2015), apresenta estas soluções como medidas não convencionais. Estas medidas podem ser grandes estruturas, obras, dispositivos de drenagem em geral ou até mesmo conceitos de projeto onde sua utilização não se encontra ainda disseminada, diferenciando-se de conceitos tradicionais de canalização e sistemas de infraestrutura cinza (tubulações, galerias tradicionais, entre outros).

As medidas não convencionais podem ser aplicadas como medidas de controle de escoamento superficial e baseiam-se em incrementar o processo de infiltração ou reter de forma temporária o escoamento superficial promovendo a restauração parcial do ciclo hidrológico natural, retardando o fluxo nas calhas dos córregos e rios. Durante o planejamento de sistemas de drenagem é importante considerar a integração de soluções mitigadoras como medidas de controle de escoamento com os dispositivos

tradicionais de drenagem devido às dificuldades encontradas para o funcionamento destas soluções como controle, fiscalização e manutenção dos dispositivos. As soluções aplicadas como medidas de controle possuem uma classificação em função do seu funcionamento podendo ser de infiltração, armazenamento ou solução mista que combine estas duas características. (SMDU; FCTH; PMSP, 2012).

Existem diversos tipos de medidas de controle, a escolha de sua utilização está condicionada a fatores relativos ao local de implantação, área da bacia, nível e risco de contaminação do lençol freático dos aquíferos, capacidade de infiltração e fragilidade do solo, declividade do terreno, disponibilidade de espaço para implantação, instalações subterrâneas existentes, entre outros. A **Tabela 3** apresenta quatro principais medidas de controle (MC) que podem ser aplicadas em áreas urbanas, demonstrando suas potencialidades, características, principais variantes, função e efeitos (SUDERHSA, 2002).

Tabela 3. Características de diferentes medidas de controle (MC)

Tipo MC	Característica principal	Variantes	Função	Efeito
Pavimento Permeável	Pavimento com camada de base porosa que atua como reservatório.	Revestimento superficial permeável ou não, com injeção do fluxo na camada de base porosa. Esgotamento por infiltração ou exutório	Armazenamento temporário da chuva no local do pavimento. Áreas externas ao pavimento podem também contribuir	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial
Biorretenção / Trincheira de infiltração / Canteiro Pluvial / Jardins de Chuva	Reservatório linear ou não, escavado no solo preenchido ou não com material poroso.	Infiltração no solo ou retenção com esgotamento para exutório	Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e/ou linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe e sobre a estrutura	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial
Poço de Infiltração	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Poço revestido preenchido com material poroso ou não. Poço efetivamente de infiltração ou de injeção direta	Infiltração pontual, na camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em área limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial
Telhado reservatório (telhado verde)	Telhado com função reservatório	Vazio ou preenchido com material poroso	Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação	Retardo do escoamento pluvial da própria edificação
Faixas gramadas	Faixas de terreno marginais ou não a corpos d'água	Faixas gramadas ou arborizadas	Áreas de escape para enchentes e infiltração pontual	Amortecimento de cheias e infiltração de contribuições laterais

Fonte: Adaptado de SUDERHSA (2002)

Visando a escolha de quais soluções mitigadoras serão aplicadas na presente pesquisa foram analisadas as considerações limitantes para escolha apresentadas por SUDERHSA (2002) demonstrando ser viável a utilização de pavimento permeável e jardins de chuva (trincheiras de infiltração) devido à baixa área de contribuição (3,95 ha), baixa declividade (3,00%) e capacidade de infiltração considerada (36 mm/h). Tais características podem ser observada no **Capítulo 4 - Metodologia.**

A **Tabela 4** apresenta as considerações limitantes para cada tipo de MC com relação a área de contribuição. Para as condicionantes de declividade e infiltração, todas as soluções estudadas são indicadas para baixas declividades (3,00%) e a infiltração considerada (36 mm/h).

Tabela 4. Áreas contribuintes adequadas para diferentes MCs

Tipo MC	Área de Contribuição (ha)		
	Inviável	Dependente de condições específicas	Viável
Pavimento Permeável	> 10	6 a 10	0 a 6
Biorretenção / Trincheira de infiltração / Canteiro Pluvial / Jardins de Chuva	> 6	4 a 6	0 a 2
Poço de Infiltração	> 6	2 a 6	0 a 2
Telhado reservatório (telhado verde)	> 2	-	0 a 2
Faixas gramadas	> 6	4 a 6	0 a 4

Fonte: Adaptada de SUDERHSA (2002)

2.3.1 Pavimento permeável como solução mitigadora

Para propiciar a trafegabilidade em meios urbanos faz-se necessário a implantação de uma estrutura denominada pavimento. Conforme apresentado por ABNT (2015), esta estrutura é construída após a conclusão dos serviços de terraplenagem e tem como objetivo:

> *"resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais oriundos dos veículos, melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança e resistir aos esforços horizontais que nela atuam tornando mais durável a superfície de rolamento."*

Visando o atendimento às necessidades das estruturas de pavimento atrelando propriedades sustentáveis de mitigação de impactos gerados pelas precipitações

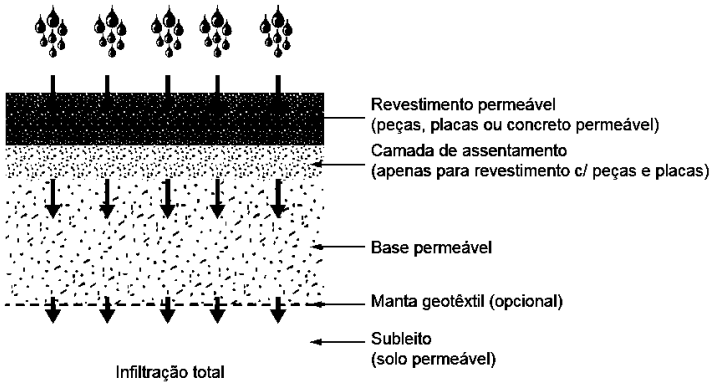
através de infiltração, surge o pavimento permeável com sua definição conforme ABNT (2015):

> *"pavimento que atende simultaneamente às solicitações de esforços mecânicos e condições de rolamento, cuja estrutura permite a percolação e/ou o acúmulo temporário da água, diminuindo o escoamento superficial, sem causar dano a estrutura."*

Observa-se que, a utilização de pavimentos permeáveis precisa atender simultaneamente solicitações de tráfego bem como propiciar a infiltração da precipitação efetiva em sua estrutura. O funcionamento de uma estrutura em pavimento permeável, do ponto de vista de capacidade de infiltração, pode ser considerado de três maneiras distintas, sendo infiltração total, infiltração parcial ou sem infiltração a depender da capacidade de infiltração do subleito local propiciando ou não a infiltração no solo.(Balbo, 2020; ABNT, 2015)

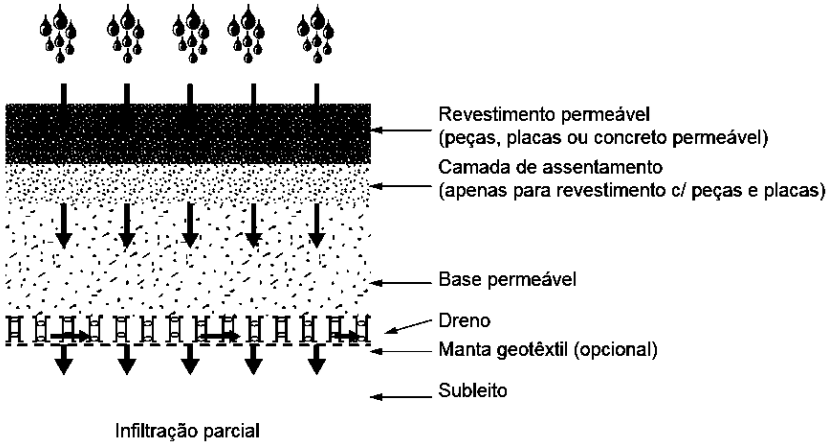
A **Figura 5** apresenta a estrutura com sistema de infiltração total onde a água precipitada sobre o pavimento infiltra pelo revestimento, ultrapassa a camada de assentamento, atinge a base permeável onde é armazenada devido a granulometria da camada e infiltra no subleito. A **Figura 6** apresenta o sistema de infiltração parcial onde o fluxo não infiltra totalmente no subleito sendo necessário a utilização de dispositivos (drenos) para retirada do excedente acumulado. A **Figura 7** apresenta o sistema sem infiltração onde o funcionamento é similar à infiltração parcial com necessidade dos drenos pois não ocorre infiltração no subleito. (ABNT, 2015).

Figura 5. Estrutura do pavimento permeável com infiltração total



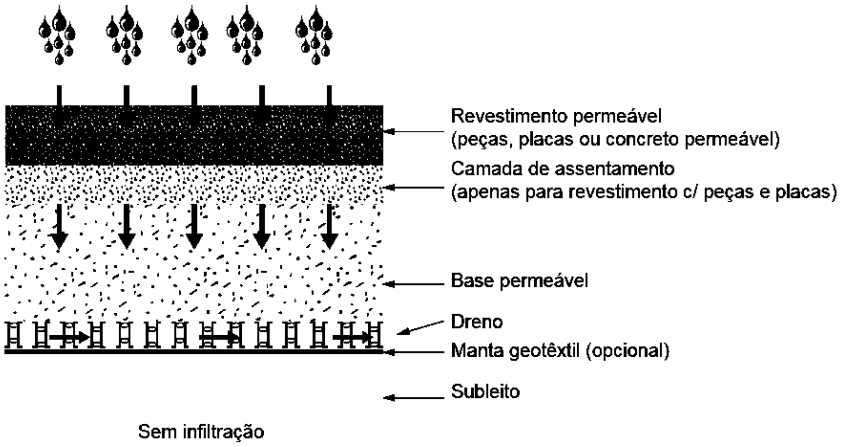
Fonte: ABNT (2015)

Figura 6. Estrutura do pavimento permeável com infiltração parcial



Fonte: ABNT (2015)

Figura 7. Estrutura do pavimento permeável sem infiltração



Fonte: ABNT (2015)

A escolha na utilização de pavimentos permeáveis como solução mitigadora precisa passar por análises de equipes multidisciplinares devido a quantidade de variáveis envolvidas no projeto como tráfego local, capacidade de suporte do subleito, profundidade do lençol freático, manutenção, entre outros. O **Quadro 1** apresenta prós e contras da solução considerando aspectos de avaliação relacionados a manejo de águas pluviais e aplicação em áreas urbanas. (Balbo, 2020; Botelho, 2020)

Quadro 1. Prós e contras na utilização de pavimentos permeáveis

Prós	Contras
Controle do escoamento superficial de águas pluviais (redução)	Questionamentos técnicos para seu emprego em vias com veículos comerciais pesados
Redução do fluxo d'água no sistema de drenagem	Custos de construção
Reposição de águas para lençóis freáticos nos subsolos	Manutenção específica para evitar ou recuperar a perda de permeabilidade (colmatação)
Redução de quantitativos de elementos de sistemas convencionais de drenagem viária	Superfície áspera para pedestres
Mitigação da erosão de canais a jusante causada pelo escoamento superficial intenso	Não certificação da mão de obra para o preparo, aplicação e cura desse tipo de concreto
Possível redução na construção de piscinões para a contenção de volumes de águas pluviais	Restrições de aplicação sobre solos expansivos e deformáveis
Solução pode ser usada em locais que permitem infiltração e não possuem dispositivos de drenagem superficial	Não pode ser aplicado em regiões de clima frio devido a possibilidade de congelamento da superfície e trincamento da estrutura
Aumento da segurança e conforto em vias devido a diminuição da possibilidade de derrapagens devido ao acúmulo de água	Risco de contaminação do aquífero

Fonte: Adaptado de Botelho (2020) e ABNT (2015)

Deve-se destacar que a utilização de pavimentos permeáveis sem a estrutura de armazenamento (base com material granular de granulometria aberta) pode não apresentar melhoras significativas aos sistemas de drenagem urbana. Para a obtenção de um acúmulo temporário das águas de chuva precipitada sobre a estrutura, redução da vazão de pico e possível diminuição do volume total devido a infiltração no subsolo, faz-se necessário a utilização da camada de armazenamento. (SMDU; FCTH; PMSP, 2012)

Destaca-se por fim a importância de estudos geométricos e de declividade para os locais de implantação dos pavimentos permeáveis de forma que o fluxo possa percorrer o trecho com o pavimento implantado a partir de um planejamento adequado da mobilidade urbana. Em visita realizada à cidade de Frankfurt na Alemanha em janeiro de 2025, pode-se observar diversos trechos urbanos onde os passeios possuem sua declividade invertida, ou seja, em direção aos imóveis, com implantação de canaletas para captação do excedente e proteção aos imóveis, mas permitindo que

o fluxo não seja lançado diretamente a faixa de rolamento e circule sobre o pavimento permeável implantado. A **Figura 8** apresenta o trecho em questão.

Figura 8. Passeio com pavimento permeável e caimento invertido - Frankfurt (Alemanha)

2.3.2 Jardim de chuva como solução mitigadora

Conhecido também como biorretenção, os JCs são MCs que podem ser utilizadas como solução mitigadora aos impactos das chuvas em áreas urbanas. Os jardins de chuva coletam as águas precipitadas em regiões impermeáveis localizadas na bacia, como telhados, vias, passeios e estacionamentos. Nos anos de 1990 iniciaram-se as primeiras experiências na utilização deste tipo de solução nos Estados Unidos e nos últimos anos diversas cidades, tanto brasileiras, quanto ao redor do mundo, buscam ampliar a utilização desta solução (Burszta-Adamiak *et al.*, 2023).

No Brasil, alguns municípios já iniciaram programas para implantação de JC. No município de São Paulo, a Prefeitura implantou um programa robusto de implantação de jardins de chuva e até setembro de 2024 já foram implementados 342 jardins em diversas regiões da cidade (Estadão, 2024).

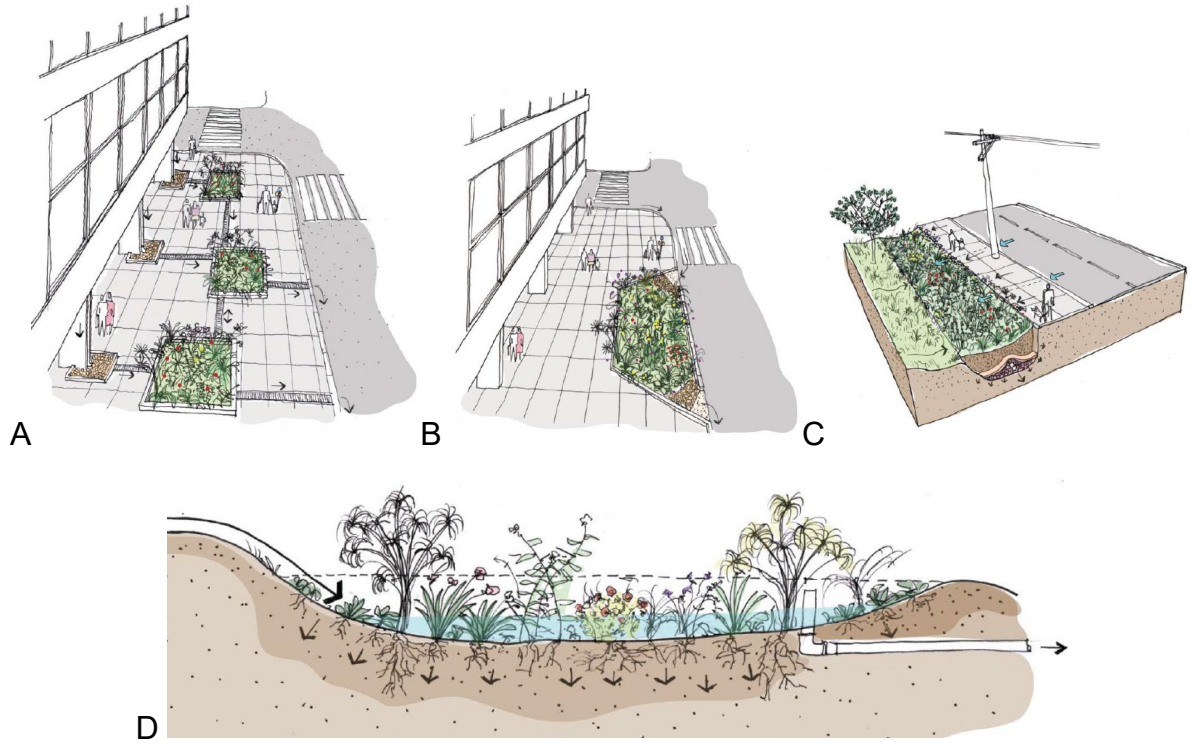
A **Figura 9** apresenta exemplos de jardins de chuva implantados na cidade de São Paulo, SP.

Figura 9. Exemplos de jardins de chuva implantados em São Paulo, SP

Fonte: Prefeitura Municipal de São Paulo (2023)

Devido as suas características geométricas e de posicionamento, os JCs recebem diferentes denominações quando aplicados em zonas urbanas. A **Figura 10** apresenta os jardins de chuva (A), caracterizados por serem de pequeno porte e de formato livre (não longilíneo); canteiros pluviais (B), caracterizado por possuir formato longilíneo isolado com guias; biovaletas (C), possuem formato linear, porém sem isolamento com guias, geralmente são maiores que os canteiros pluviais e podem ser utilizados como condutores de escoamento superficial, como canaletas e bacias de retenção vegetadas (D), caracterizadas por serem jardins de formato livre , como os jardins de chuva mas de maior dimensão (Castagna; Ferraz, 2023).

Figura 10. Tipos de jardins de chuva em função de suas características geométricas e posicionamento



Fonte: Castagna; Ferraz (2023)

Os JCs são depressões no terreno que podem ser existentes, ou executadas para este fim, onde a contribuição proveniente das chuvas que precipita ao redor é capturada e armazenada, parte desse fluxo segue para infiltração no solo (caso o solo local possua capacidade de infiltração) e o excedente da vazão de contribuição retorna para o sistema de drenagem tradicional. (Cormier; Pellegrino, 2008; Okimoto; Santos, 2023).

A **Figura 11** apresenta uma estrutura típica de um JC onde pode-se observar as suas camadas e funcionalidades. A conformação básica do jardim de chuva deve possuir a camada superior denominada zona de detenção onde o fluxo se acomoda e entra em contato com as vegetações implantadas, a camada seguinte onde encontra-se substrato para plantio das espécies e em seguida a camada de armazenamento que deve ser preenchida com material de granulometria aberta e pode ou não existir, por fim ressalta-se a importância do vertedor para propiciar a extravasão do excesso de água acumulada no jardim em precipitações de maior intensidade (Pinheiro *et al.*, 2023).

Figura 11. Estrutura básica de um jardim de chuva.

Fonte: Pinheiro et al. (2023)

Devido a presença da camada superior de armazenamento e a camada de substrato onde ocorre o plantio de espécies nativas que permitam o alagamento de suas raízes e possuam capacidade de suportar períodos de seca (devido aos períodos de estiagem), os JCs possuem benefícios ambientais para controle de poluição difusa muito importantes e que precisam ser considerados. Diversos estudos apontam para reduções significativas de compostos como Cobre, Fósforo, Nitrogênio, Sólidos totais, entre outros. (Gondim; Ohnuma Júnior; Obraczka, 2023;Cormier; Pellegrino, 2008).

O **Quadro 2** apresenta os prós e contra da solução considerando sua aplicação em espaços urbanos.

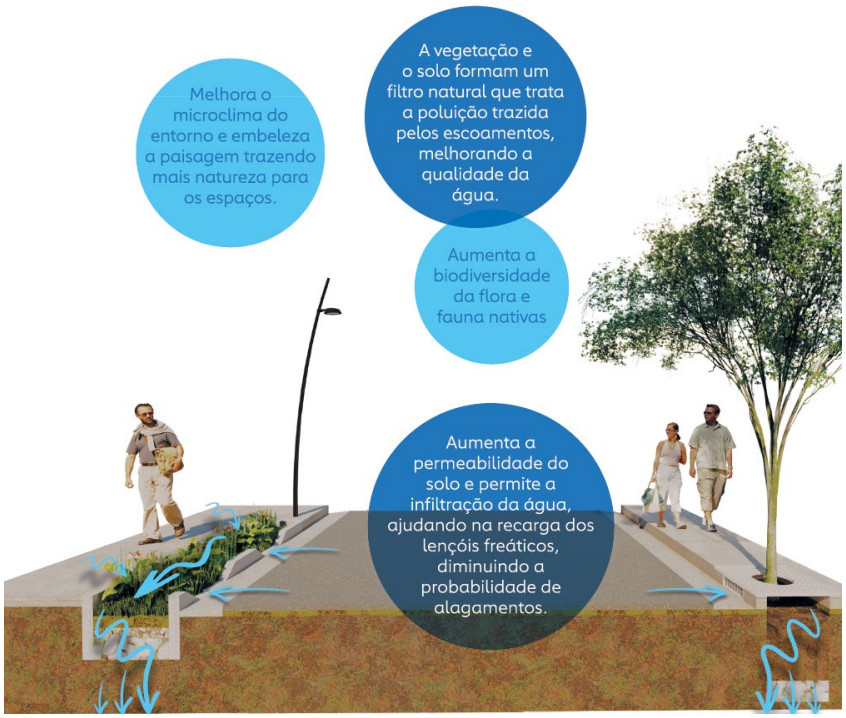
Quadro 2. Prós e contras na utilização de jardins de chuva

Prós	Contras
Controle do escoamento superficial de águas pluviais (redução)	Manutenção das espécies implantadas no jardim
Redução do fluxo d'água no sistema de drenagem existente	Excesso no tempo de acumulação de fluxo por falta de capacidade de infiltração (acima de 48 horas não é indicado)
Reposição de águas para lençóis freáticos nos subsolos	Requer espaço livre para implantação não permitindo a circulação no local implantado
Participação comunitária na implantação e manutenção	Risco de contaminação do lençol freático quando não respeitado o distanciamento mínimo (1,20m).
Controle de poluentes difusos evitando contato com lençol freático e solo local	Possíveis problemas às instalações subterrâneas por erro de execução
Redução de efeitos negativos causados pelas ilhas de calor urbanas	Restrições de locais para implantação (proximidade a fundações de construções mínima de 2,00m)
Facilidade de implantação (não exige mão de obra especializada)	

Fonte: Adaptado de Okimoto; Santos (2023), Bąk; Barjenbruch (2022) e Castagna; Ferraz (2023)

Conforme apresentado por Pinheiro et al. (2023) os benefícios desta solução são muito significativos para a qualidade de vida e saúde da população quando aplicados no meio urbano principalmente pela sua funcionalidade e integração com a natureza e soluções paisagísticas devido a presença das vegetações na solução. A **Figura 12** apresenta de forma gráfica em uma via hipotética os benefícios da solução.

Figura 12. Benefícios dos jardins de chuva



Fonte: (Pinheiro *et al.*, 2023)

É importante salientar a necessidade de estudos multidisciplinares para utilização de jardins de chuva de forma que possam ser integrados à paisagem, planejamentos urbanos, planos de mobilidade e soluções de trafegabilidade podendo fazer parte, por exemplo, de estruturas de direcionamento viário e controle de velocidade em vias de baixo tráfego como ocorrido em planos realizados na cidade de Seattle, Washington (Okimoto; Santos, 2023).

2.4 Impacto das soluções mitigadoras no manejo de águas pluviais

Para análise de soluções mitigadoras no manejo de águas pluviais, a utilização de modelagem computacional é atualmente uma prática já consolidada no meio técnico e científico. Por meio dessa abordagem, pode-se propor cenários de análise com variações hidrológicas e hidráulicas, permitindo uma avaliação adequada da eficiência das soluções aplicadas às microbacias urbanas (Boongaling *et al.*, 2024).

Para compreender o estado da arte para estudos de impacto de soluções mitigadoras no manejo de águas pluviais com utilização de modelagem com os softwares *SWMM* e *PCSWMM*, software largamente utilizado para este fim no meio técnico e acadêmico, foi realizado um levantamento de publicações com objetivos similares a esta pesquisa. A **Tabela 5** apresenta as características relativas ao local dos estudos, sistema de modelagem utilizado, métodos de infiltração e modelo hidrológico considerados, com relação ao tempo de retorno (TR) e duração da chuva (DC). Nota-se que os parâmetros diferem entre as publicações justamente pelo objetivo de cada um dos estudos optam por utilizar um modelo hidrológico abrangente com diferentes TRs e DCs.

Tabela 5. Parâmetros de estudo para diversas publicações.

Autor, data	Local	Sistema de modelagem	Infiltração	Modelo hidrológico
Kim et al. (2018)	Cheongju, Coreia do Sul	SWMM	-	TR: 10, 20 e 30 anos DC: 10 e 60 min.
Tejadas; Possantti; Marques (2019)	Porto Alegre, Brasil	SWMM	SCS (CN)	TR: 5 anos DC: 120 min.
Ferrans et al. (2023)	Dresden, Alemanha	SWMM	-	TR: 10, 20, 50 e 100 anos DC: 30, 120 e 360 min.
Silva et al. (2019)	Brasília, Brasil	SWMM (PCSWMM)	HORTON	TR: 10 anos DC: 10min.
Christo, (2021)	Nova Orleans, Estados Unidos	SWMM	SCS (CN)	TR: 10 anos DC: 24 horas
Rodrigues; Santini Junior, (2021)	Fernandópolis, Brasil	SWMM	HORTON	TR: 5, 25, 50 e 100 anos DC: 60 min.
Bezerra et al. (2020)	Brasília, Brasil	SWMM (PCSWMM)	SCS (CN)	TR: 10 anos
Chapman; Hall (2022)	Cambridge, Inglaterra	SWMM	-	TR: 10 anos DC: 120 min.
Kourtis; Tsihrintzis; Baltas, 2020	Atenas, Grécia	SWMM	SCS (CN)	TR: 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos DC: 60 min.
Hlushchenko et al., (2022)	Kiev, Ucrânia	Cálculos manuais	-	-
Arjenaki et al. (2021)	Shahrekord, Irã	SWMM	SCS (CN)	TR: 2, 5 e 10 anos
Yang et al., (2023)	Tianjin, China	SWMM	HORTON	TR: 1, 2, 3, 5 e 10 anos DC: 120 min.
Suresh; Pekkat; Subbiah, (2023)	Guwahati, India	SWMM	-	TR: 2, 5 e 10 anos DC: 15 min.
Zanandrea; Silveira (2019)	Viamão, Brasil	SWMM	Green_Ampt	TR: 2, 5 e 10 anos DC: 5 horas
Cubides; Santos (2018)	Bogotá, Colombia	SWMM	-	TR: 3 anos DC: 72 min.
Fileni; Costa; Alves (2019)	Brasília, Brasil	SWMM (PCSWMM)	SCS (CN)	TR: 10 anos DC: 24 horas
Le Floch et al. (2022)	Trondheim, Noruega	SWMM	Green_Ampt	TR: 2, 5 e 10 anos

Para compreensão de forma mais direta das informações apresentadas que relacionam os estudos utilizados como referência, foram adotadas as siglas indicadas na **Tabela 6**. A **Tabela 7** apresenta as características das soluções mitigadoras utilizadas pelos estudos descritos na **Tabela 5**, sendo possível uma visão mais abrangente das soluções aplicadas nos estudos.

Tabela 6. Siglas utilizadas para soluções mitigadoras apresentadas nos estudos da Tabela 5

Sigla	Solução mitigadora
AV	Áreas vegetadas
APo	Árvores pontuais
VI	Valas de infiltração
CI	Cisternas
PP	Pavimento permeável
JC	Jardim de chuva
CP	Canteiros pluviais
TV	Telhados verdes
PI	Poço de infiltração

Tabela 7. Características das soluções mitigadoras utilizadas pelos estudos descritos na Tabela 5

Autor, data	LIDs utilizadas	Características das soluções	Considerações do estudo
Kim et al., (2018)	AV	Foram obtidas mediante calibração do modelo (Lids existentes) para chuva monitorada	Área com 95% de impermeabilização. Area total de 411.183 m² usando para LID 181.276 m² (44,09%). Verificação de bacia real com Lids instaladas
	APo		
	VI		
	CI		
	PP		
Tejadas; Possantti; Marques, (2019)	VI	Altura armaz.: 1,00m / índice de vazios: 0,57 / taxa infiltração: 2,55 / prof. da berma: 0,05 / cob. vegetal: 0,1 / rugosid. super: 0,10 / decliv. superficial: 1,00%	pátios, edificações em lotes e vias públicas: 100% impermeáveis / praças: 100% permeáveis. Por fim, 50% da área do passeio público foi tida como impermeável (sendo, por consequência, os outro 50% permeáveis). Area de estudo 35ha
	PP	Altura armaz.o: 0,40m / índice de vazios: 0,35 / taxa infiltra: 2,55 / n manning: 0,015 / decliv. superficial: 2,00% / esp. pav.: 0,10 / índice vazios pav:0,57 / superficie permeável: 0,85 / permeabilidade: 100	
	CI	Altura de armazenamento: 1,70m	
Ferrans et al., (2023)	TV	Vazios: 0,47 / profundidade da berma: 0,09 / cob. Vegetal: 0,1 / rugosidade super: 0,09 / Declividade superficial: 1,00% / prof. Solo: 0,03 / drainage mat: 0,01mm (espessu) / vazios: 0,47 / manning: 0,07	Area de estudo 22,9ha - 42,7% impermeável, 57,3% permeável. Simulou areas de inundação na bacia
	PP	Vazios: 0,47 / taxa infiltra: 2,00 / rugosidade super: 0,03 / Declividade superficial: 1,00% / prof. Solo: 0,10 / espessura pav: 0,05mm / infiltração: 0,08 / permeabilidade: 745,33 mm/h	
	JC	Vazios: 0,47 / profundidade da berma: 0,15 / rugosidade super: 0,09 / Declividade superficial: 1,00% / prof. Solo: 0,50 /porosidade solo: 0,40 / condutividade: 167,99 mm/h	

Tabela 7. Características das soluções mitigadoras utilizadas pelos estudos descritos na Tabela 5 (continuação)

Autor, data	LID's utilizadas	Características das soluções	Considerações do estudo
Silva et al., (2019)	TV	Altura da berma: 0,003 / Cobertura vegetal: 0,10 / manning: 0,10 / declividade: 1,0% / espessura solo: 0,15m / porosidade: 0,50 / capacidade de campo: 0,30 / ponto de murcha: 0,10 / condutividade: 600 / seção capilar: 75 / material dreno-espessura: 50 mm/h / manning: 0,10	Area de estudo 8,21 ha - Utilização de parâmetros de modelagem conforme manual SWMM
	PP	rugosidade super: 0,014 / Declividade superficial: 1,00% / espessura pav.: 0,10 / índice vazios pav:0,15 / permeabilidade: 400mm/h / prof. Armazenamento: 0,30m / Vazio: 0,50 / infiltração no solo: 50mm/h	
Christo (2021)	PP	rugosidade super: 0,011 / Declividade superficial: 2,00% / espessura pav.: 0,125 / índice vazios pav:0,33/ permeabilidade: 288 in/hour/ prof. Armazenamento: 0,875m / Vazio: 0,90 / infiltração no solo: 0,14 in/h	Área de estudo: 258 acres - Utilização de parâmetros de modelagem conforme manual SWMM
	JC	Volume vegetação: 0,20 / profundidade da berma: 0,30 / rugosidade super: 0,80 / Declividade superficial: 2,00% / prof. Solo: 1,20 /porosidade solo: 0,471 / condutividade: 0,04 in/h / prof. Armazenamento: 0,35 / porosidade armazenamento: 0,40 /	
Rodrigues; Santini Junior, (2021)	TV	Espessura solo: 0,15	Área de estudo: 641,88ha - Utilização de parâmetros de modelagem conforme manual SWMM bem como materiais de preenchimento - os pavimentos permeáveis foram instalados somente em estacionamentos comerciais e pavimentos de praças e escolas.
	PP	Espessura pavto: 0,150	
	VI	Largura de 100m junto a sarjeta e 0,80m de largura e 0,50m profundidade	
	JC	Largura: 0,40 / 25m comprimento / 1m profundidade	
Bezerra et al., (2020)	VI	Largura: 2,00m / Profundidade: 0,60m	Área de estudo: 8,89 km²
	JC	Seções variadas / Profundidade: 0,30m	

Tabela 7. Características das soluções mitigadoras utilizadas pelos estudos descritos na Tabela 5 (continuação)

Autor, data	LID's utilizadas	Características das soluções	Considerações do estudo
Chapman; Hall (2022)	PP	rugosidade super: 0,012 / espessura pav.: 0,08 / índice vazios pav:0,26 / permeabilidade: 17693 mm/h / prof. Armazenamento: 0,35m / Vazio: 0,99 / profundidade do solo: 0,05 / porosidade: 0,26 /	
	TV	Cobertura vegetal: 0,50 / manning: 0,14 / espessura solo: 0,30m / porosidade: 0,412 / capacidade de campo: 0,20 / ponto de murcha: 0,10 / condutividade: 48 mm/h / seção capilar: 110,10 / material dreno-espessura: 25 mm/h / manning: 0,10 /	
	JC	Volume vegetação: 0,50 / rugosidade super: 0,14 / prof. Solo: 0,30 /porosidade solo: 0,412 / condutividade: 10,90 mm/h / prof. Armazenamento: 0,15 / porosidade armazenamento: 0,99	
Kourtis; Tsihrintzis; Baltas (2020)	TV	Altura da berma: 0,10 / Vegetação: 0,20 / rugosidade solo: 0,25 / declividade: 1% / espessura: 0,20 / Porosidade: 0,50 / condutividade: 1000 mm/h / espessura: 0,10 /	Área de estudo: 89 ha - Utilização de parâmetros de modelagem conforme manual SWMM
	PP	Berma: 0,00 / vegetação: 0 / manning: 0,015 / declividade: 1,00% / espessura: 0,15 / permeabilidade: 500 mm/h / espessura acumulação 0,40 /	
Hlushchenko et al., (2022)	JC	Profundidade retenção: 0,55 / Largura: 1,33 / Extensão: 200m	
Arjenaki et al., (2021)	TV	manning: 0,10 / espessura solo: 12mm / porosidade: 0,50 / plant cover: 90 / declividade 1%	Área de estudo: 4756,23 ha
	PP	Berma: 0,03 / manning: 0,050 / declividade: 1,00% / espessura: 0,15 / permeabilidade: 100 mm/h / void ratio: 0,21 / espessura acumulação 0,90 / porosidade: 75 /	
	CI	Altura: 1500MM	
Yang et al., (2023)	PP	Extensão:2,00m / Largura: 2,00 / prof: 0,96	Área de estudo: 4,35 ha
	JC	Extensão: 1,00 / Largura: 1,00 / prof: 0,80	
	VI	Extensão:2,00m / Largura: 0,60 / prof: 0,70	

A **Tabela 8** apresenta os resultados e conclusões encontradas para os estudos apresentados na **Tabela 5**. Esses resultados variam de acordo com as diferentes abordagens e contextos específicos dos estudos.

Tabela 8. Utilização de soluções mitigadoras e resultados para estudos descritos na Tabela 5.

Autor, data	Soluções mitigadoras utilizadas	Resultados e Conclusões
Kim et al. (2018)	AV / APo / VI / CI / PP	Reduções variáveis no pico de vazão conforme cenário sendo entre 9,00%, 33,90% a 76,60%
Tejadas; Possantti; Marques (2019)	VI / PP / CI	Reduções entre 9% e 30% no pico de vazão e redução de 10 a 29% do volume total escoado
Ferrans et al. (2023)	TV / PP / VI / JC	Redução de áreas finais de inundação variando conforme dados hidrológicos sendo de 3,64% a 40,07%
Silva et al. (2019)	TV / PP	Reduções variáveis no pico de vazão conforme cenário sendo entre 8,75%, 25% e 55,6%
Christo (2021)	AV / PP / JC	Redução de 32% no pico de vazão e 25% no volume total escoado.
Rodrigues; Santini Junior (2021)	TV / PP / VI / JC	Reduções variáveis no pico de vazão conforme cenário sendo entre 12,20%, 31,08%, 31,38% e 33,72%
Bezerra et al. (2020)	VI / JC	Redução de 29,00% no pico de vazão
Chapman; Hall (2022)	PP / TV / JC	Reduções variáveis conforme cenário de LID's e ocupações urbanas sendo entre 9% e 55%.
Kourtis; Tsihrintzis; Baltas, (2020)	TV / PP	Reduções variáveis no pico de vazão conforme cenário sendo entre 5,00% e 51,00%
Hlushchenko et al. (2022)	JC	Total (100%) pois a metodologia propõe o acúmulo total da chuva no JC.
Arjenaki et al. (2021)	TV / PP / JC	Reduções variáveis no pico de vazão conforme cenário sendo entre 25% e 46%
Yang et al. (2023)	PP / JC / VI	Redução do runoff de 0,70 para 0,50 e redução de volume de 24,40% a 100%
Suresh; Pekkat; Subbiah (2023)	TV / CI / PP / VI	Redução do runoff variando conforme tipo de LID, sendo entre 30,00% e 83%
Zanandrea; Silveira (2019)	VI / PP	Redução do volume escoado em 14% para período de retorno de 2 anos
Cubides; Santos (2018)	PI	Redução da vazão de pico em 7,70%
Fileni; Costa; Alves (2019)	PP	Redução da vazão de pico dependendo do cenário entre 17% e 86%
Le Floch et al. (2022)	TV / PP /	Redução da vazão de pico dependendo do cenário entre 0%, 22% e volume de 10 a 20%

A análise dos estudos demonstrou uma grande variabilidade de resultados para redução de VP e VA, pois em estudos de modelagem hidrológica e hidráulica, os

parâmetros utilizados possuem grande sensibilidade nos resultados devendo ser adaptados conforme as características do local de estudo. Kim et al. (2018) avaliou em seu estudo, através do SWMM, a utilização de sete tipos de solução, entre elas PP. Este estudo foi conduzido para uma área industrial com alta taxa de impermeabilização (95%), área total de 41,12ha e percentual médio de 25% da área para soluções mitigadoras. Os percentuais de redução de escoamento ficaram entre 38,60% e 87,10% conforme parâmetros hidrológicos e áreas de implantação do PP.

A conclusão relativa aos parâmetros também foi apresentada por Ferrans et al. (2023), em seu estudo para uma área urbana em Dresden, Alemanha. Os resultados para TRs menores foram superiores aos resultados para TRs maiores e os percentuais de redução também tiveram grande variação devido às características e modelo hidrológico utilizado. Tejadas et al., (2019) obteve reduções em torno de 10% tanto para VP quanto para VA onde propôs a utilização de PP, entre outras soluções, sendo aplicadas em 39% da área total da bacia para uma chuva de 2 horas e TR de 5 anos em um local altamente urbanizado.

Silva et al. (2019) em seu estudo que utiliza PP, encontrou uma redução de 33,11% na VP para TR 10 anos e DC de 2 horas. Arjenaki et al. (2021) realizou um estudo em Shahrekord, no Irã, utilizando o SWMM para chuvas com TRs de 2, 5 e 10 anos e DC de 2 horas simulando diversas soluções mitigadoras. Os resultados variaram entre 25% e 46% a depender da combinação e demais características. Suresh et al. (2023) avaliou 4 microbacias com utilização do SWMM para uma área de estudo localizada em Guwahati, nordeste da India. Seu estudo utilizou soluções mitigadoras diversas com chuvas de TRs de 2, 5 e 10 anos e DC de 15 minutos onde a solução de telhados verdes demonstrou maior eficiência frente as demais soluções.

Realizando-se uma comparação entre os estudos com similaridade para a metodologia de infiltração (SCS – CN), TR (10 anos) e soluções mitigadoras variando entre PP, JC, VI, TV e CI, nota-se reduções de VP com certa similaridade como pode ser observado na **Tabela 8** para os estudos de Christo (2021), Bezerra et al. (2020), Arjenaki et al. (2021) e Kourtis; Tsihrintzis; Baltas (2020) onde as reduções ficaram entre 5% e 51% com uma faixa significativa entre 25% e 46%. Por fim, cabe ressaltar que os resultados apresentados nos estudos indicados variam conforme os cenários e soluções utilizadas, mas nota-se sim certa similaridade nos resultados.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O local de estudo da presente pesquisa encontra-se no município de Jundiaí, no estado de São Paulo. Está localizado entre as Latitudes Sul 23° 04’ 35” e 23° 19’ 34”, bem como Longitudes Oeste 46° 47’14’ e 47° 01’ 43” e uma altitude média de 762 metros. Área territorial total de 431,204 km² onde sua extensão territorial o torna o 200° município com maior área no Estado de São Paulo.(IBGE, 2022).

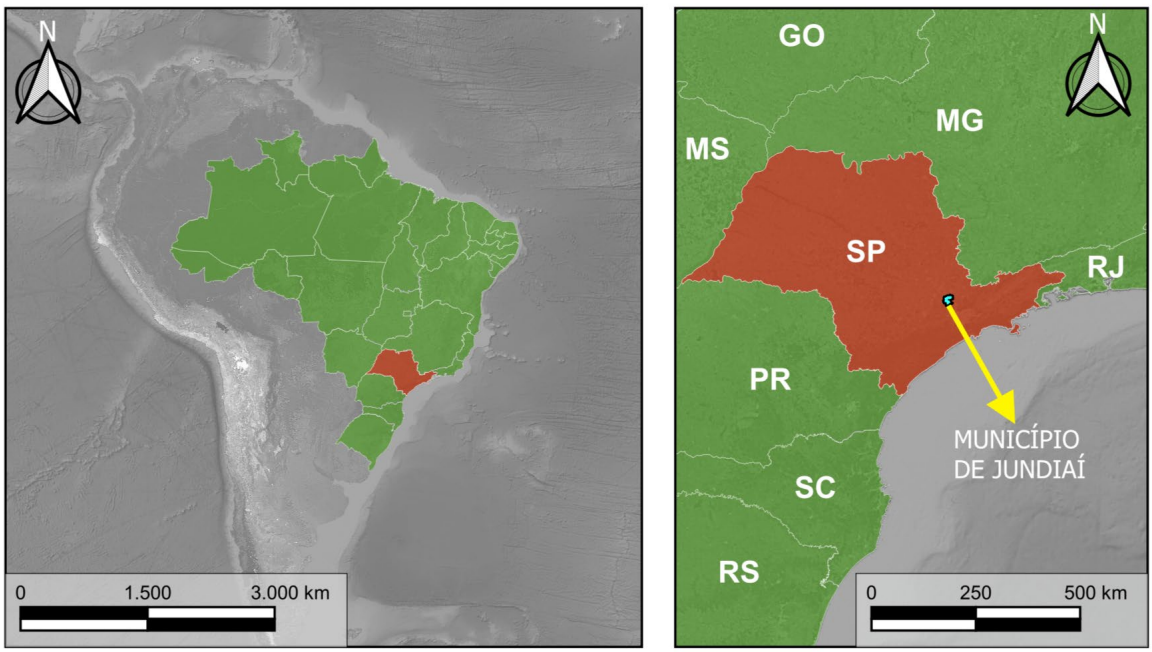
A área urbana do município representa 112 km² e sua área rural cerca de 320 km² sendo 228,60 km² área de cultivo e 91,40 km² área de preservação da Serra do Japi (PMJ, 2024).

O município de Jundiaí possui uma população total de 443.221 habitantes, representando uma densidade demográfica de 1.027,87 hab./Km² ocupando a posição de número 37° no Estado de São Paulo. Apresentou ainda uma taxa geométrica de crescimento anual de 1,51% para o período de 2010 a 2021 (IBGE, 2022).

Localizado a uma distância de 49 km da Capital do Estado de São Paulo, o município de Jundiaí faz parte da região administrativa de Campinas e possui divisa com os municípios de Itatiba, Louveira e Vinhedo ao Norte, Várzea Paulista, Campo Limpo Paulista e Jarinu ao Leste, Itupeva e Cabreúva a Oeste e Pirapora do Bom Jesus, Franco da Rocha e Cajamar ao Sul. O acesso rodoviário ao município ocorre pelas Rodovias dos Bandeirantes e Rodovia Anhanguera sendo as rodovias principais da região. Possui também acessos diretos pelas Rodovias D. Gabriel Paulino Bueno Couto, Rodovia Tancredo de Almeida Neves, Rodovia Constâncio Cintra e Rodovia Geraldo Dias. O município possui o Aeroporto Estadual Comandante Rolim Adolfo Amaro podendo ser utilizado para acesso por aviação executiva ao município.

A **Figura 13** apresenta o mapa de localização do município de Jundiaí.

Figura 13. Mapa de localização de Jundiaí



3.1 Caracterização climática e pedológica da área de estudo

Segundo o IBGE (2022), o município de Jundiaí possui Clima do tipo Clima Tropical Brasil Central Úmido com 1 a 2 meses secos, classificação Koppen do tipo Cfa, sendo clima subtropical com verão quente. Nos meses mais quentes, a temperatura no município atinge picos da ordem de 26,8ºC e as temperaturas mínimas para os meses mais frios geralmente são amenas variando em torno de 20ºC mas podendo atingir picos mínimos da ordem de 11,2ºC. A **Tabela 9** apresenta os valores mínimos, médios e máximos de temperatura no período de 1991 a 2021 para o Município de Jundiaí.

Tabela 9. Temperaturas mínimas, médias e máximas para Jundiaí entre 1991 e 2021

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Máxima(ºC)	26,4	26,8	25,9	24,8	22,2	21,8	21,8	23,5	25,2	25,9	25,3	26,2
Média(ºC)	22	22,2	21,4	20,1	17,3	16,4	16	17,3	19,1	20,4	20,4	21,6
Mínima (ºC)	18,6	18,5	18	16,3	13,4	12	11,2	12,1	14,3	16	16,6	17,9

Fonte: Adaptado de Climate Data (2024)

Segundo PMJ (2024), o município de Jundiaí, apresenta um tipo de solo composto por Latossolos (vermelho-amarelo) representando 81,80% do território, Litossolos com 7,30%, Podzolizados com cascalho representando 5,00%, Hidromórficos com 2,80%, Podzólicos (vermelho-amarelo, escuro) com 2,10% e mediterrânicos com 1,0%. O Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, elaborado pelo Instituto Florestal, vinculado à Secretaria do Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo fornece elementos que permite a compreensão dos diferentes tipos de solo no território (Rossi, 2017). A análise desse mapa permitiu confirmar a informação da proximidade da área de estudo com o solo tipo LVA10 conforme descrito:

Solo LVA10: reflete uma associação de Latossolo Vermelho-Amarelo e Vermelho distrófico típico a moderado com textura média ou argilosa, álico com Cambissolo Háplico com textura média ou argilosa, pedregoso ou não. O solo LVA10 por apresentar uma textura média, podendo ser pedregoso ou não, apresenta média a média alta permeabilidade (Embrapa, 2024).

3.2 Definição do recorte de estudo

Conforme apresentado anteriormente, foi utilizado o município de Jundiaí como área de estudo e com o intuito da definição do recorte, foram realizadas análises das bacias de hidrográficas do município em e a localização das vias principais.

3.2.1 Bacias hidrográficas da área de estudo

A hidrografia do município de Jundiaí é dividida em 7 bacias sendo elas: Jundiuvira, Guapeva, Estiva, Ribeirão Cachoeira/Caxambu, Jundiaí Mirim, Rio Capivari e Bacia do Rio Jundiaí. Foi definida para o estudo a bacia contribuinte do Rio Jundiaí que engloba a Avenida Jundiaí, importante via para o município. Esta via apresenta características adequadas para o estudo, como localização próxima ao ponto alto (divisa das bacias do Rio Jundiaí e Bacia do Estiva), dimensões regulares e ausência de contribuições externas excessivas. A **Figura 14** apresenta as bacias hidrográficas do município de Jundiaí e a **Figura 15** demonstra a indicação da posição do recorte juntamente com as divisões das bacias hidrográficas onde pode-se verificar que o recorte se localiza próximo ao ponto alto da bacia.

Figura 14. Bacias hidrográficas do município de Jundiaí

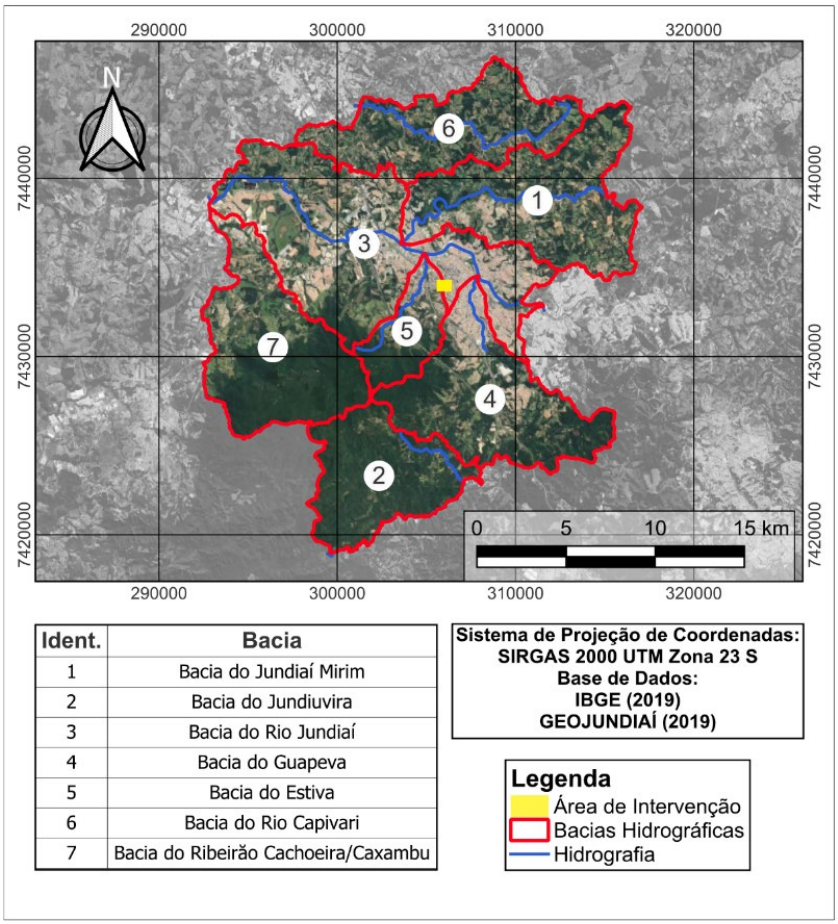


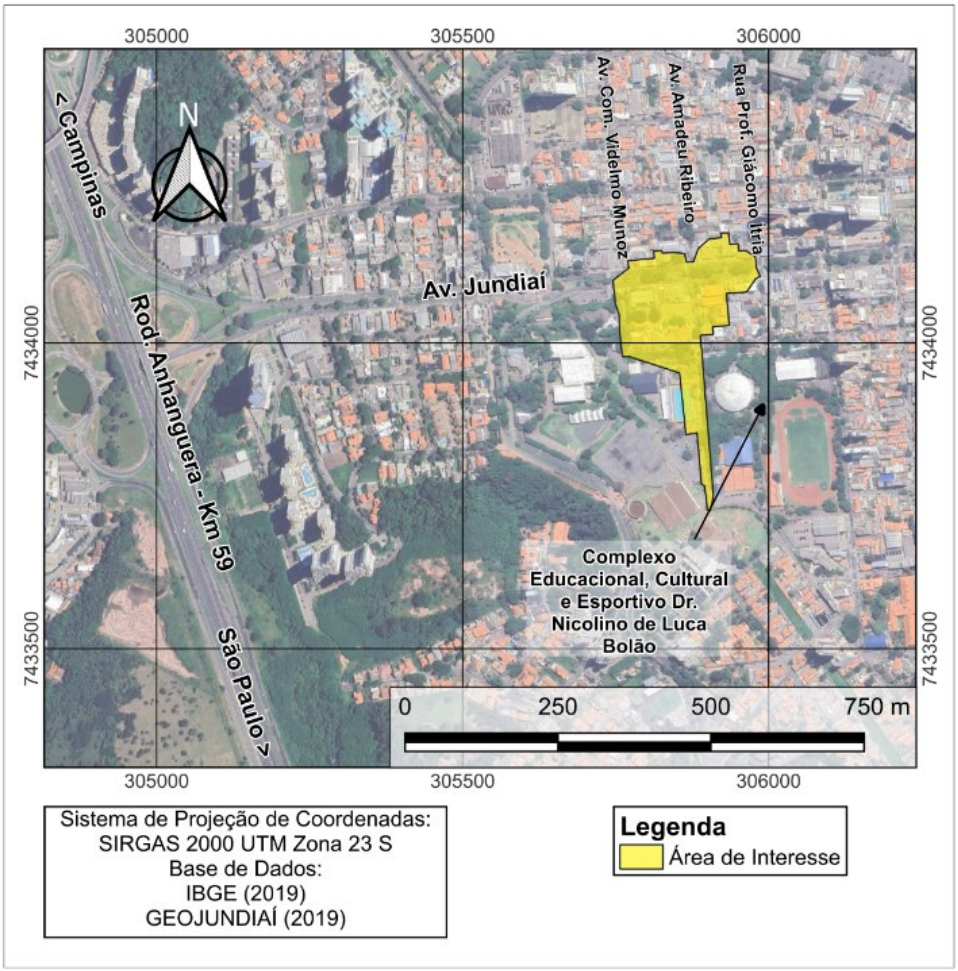
Figura 15. Localização do recorte junto às bacias hidrográficas de Jundiaí

3.2.2 Justificativa da escolha do recorte de estudo

O recorte de estudo está localizado próximo ao divisor de bacias, mais precisamente na Avenida Jundiaí, no trecho entre as vias Av. Comandante Videlmo Munoz, passando pela Av. Amadeu Ribeiro e encerrando na Rua Professor Giácomo Itria, conforme apresentado na **Figura 16**.

O trecho em estudo da Avenida Jundiaí localiza-se na região a montante da bacia de contribuição, não possuindo contribuições externas em excesso e não apresentando histórico de alagamentos.

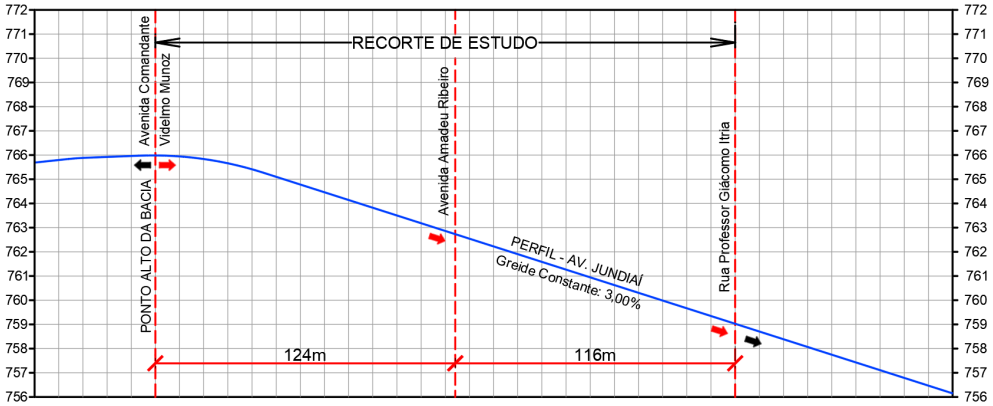
Figura 16. Localização do recorte de estudo



O trecho indicado como recorte, apresenta ainda regularidade em suas características físicas, bem como uma declividade longitudinal (greide) constante, avaliada em 3,00% obtida mediante a modelagem do levantamento topográfico fornecido pela prefeitura de Jundiaí, com a utilização do software *Autodesk Civil 3D*. A modelagem permite a realização de perfis em qualquer ponto do terreno, representando com exatidão as variações de cota encontradas no local. Dessa forma,

foi possível a obtenção do perfil longitudinal da via, aferindo a declividade de 3,00%. O perfil da via no trecho do estudo é apresentado na **Figura 17**, onde é possível verificar a posição do ponto alto junto a Avenida Comandante Videlmo Munoz, o cruzamento com a Avenida Amadeu Ribeiro e a finalização do recorte junto a Rua Professor Giácomo Ítria (ponto final – exutório de análise). Também é possível compreender as distâncias entre os pontos e sentido do escoamento.

Figura 17. Perfil longitudinal da Av. Jundiaí no trecho de análise



Outro ponto importante na definição da escolha desse recorte é a existência de planos de mobilidade realizados pela PMJ para a Avenida Jundiaí, como o programa “Ativa!”. O programa Ativa! é um programa onde busca-se:

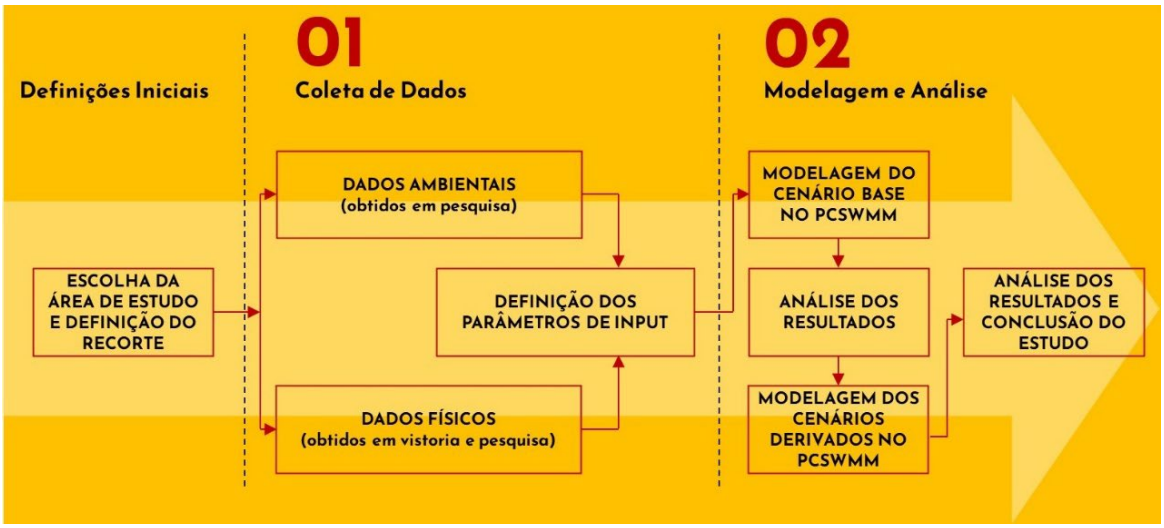
> *“A promoção da mobilidade segura, acessível e agradável, especialmente para pedestres e ciclistas através de ações integradas de desenho urbano e segurança viária, incentivando o uso dos espaços públicos e promovendo a mudança de comportamento das pessoas na cidade.”*
>
> Fonte: Programa Ativa! (PMJ, 2024)

As características geométricas do sistema viário propostas pela Prefeitura de Jundiaí para o trecho de estudo integrante do programa Ativa! serão utilizadas como referência para definição do cenário base como será esclarecido posteriormente, desta forma, o presente estudo também busca apresentar soluções alinhadas com as demandas da municipalidade podendo ser utilizadas como instrumento futuro de planejamento urbano.

4. METODOLOGIA

A **Figura 18** apresenta as etapas do desenvolvimento da pesquisa. As definições iniciais referem-se a escolha da área e definição do recorte, em seguida a etapa 01 que consiste na realização das coletas de dados ambientais e físicos obtidos através de pesquisas bem como vistorias no local, definindo-se assim todos os parâmetros de input necessários à modelagem dos cenários e posteriormente as análises dos resultados, sendo ambos realizados na etapa 02.

Figura 18. Esquema metodológico da pesquisa.



4.1 Coleta de Dados

4.1.1 Dados Ambientais – Modelo Hidrológico

O município de Jundiaí apresenta média anual de precipitação de 1407 mm. O mês de agosto é o mais seco, com médias de precipitação de 39mm, enquanto o mês de janeiro registra os maiores valores, com média mensal de 248mm (Climate Data, 2024). Para definição do comportamento hidrológico do recorte de estudo é necessário obter a equação IDF (intensidade, duração e frequência). A definição das equações ocorre através de metodologias de discretização da chuva máxima diária anual para diferentes durações e são obtidas mediante ajustes estatísticos dos dados dos postos pluviométricos disponíveis na região do estudo (Pinto *et al.*, 1976).

O objetivo do presente estudo não passa pela definição de equações IDF e visando assertividade na obtenção dos parâmetros hidrológicos, foram analisados os

postos pluviométricos da região disponíveis junto a Rede Hidrometeorológica Nacional por meio da plataforma HIDROWEB, apresentada no site da ANA, bem como publicações técnicas que se utilizaram de outros postos localizados em cidades próximas.

O posto pluviométrico número 2.346.097, atualmente em operação, mantido pela ANA e sendo operado pela CPRM, localiza-se a cerca de 500m do local de estudo. A proximidade do posto ao local, bem como a grande disponibilidade de dados (1938 a 2023) foram determinantes na escolha de utilização das equações definidas para este posto pois os demais postos disponíveis apresentam distâncias muito grandes do local, podendo não refletir o comportamento hidrológico de forma correta.

Este posto foi utilizado para definição da equação IDF nos estudos apresentados no Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM *et al.*, 2019) e no Plano Diretor de Macrodrenagem da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí (PCJ; Engenharia e Ambiente SA, 2021) e a **Tabela 10** apresenta os parâmetros das equações (a, b, c e d) bem como o intervalo de dados considerados na definição das equações IDFs apresentadas.

Tabela 10. Características dos estudos que utilizaram o posto 2346097

Estação ANA	a	b	c	d	Distância ao local do recorte	Intervalo de dados	Fonte
2346097	3091,80	0,1681	23,20	0,9301	0,50 Km	1939 a 2012	(CPRM *et al.*, 2019)
2346097	949,14	0,186	11,52	0,756	0,50 Km	1939 a 1981 1984 a 1986 1991 a 1997 2007 a 2014	(PCJ; Engenharia e Ambiente SA, 2021)

Como pode ser observado na **Tabela 10**, as duas equações utilizaram os dados do mesmo posto de referência, mas com intervalos de anos diferentes. O intervalo de anos de cada equação foi analisado com a obtenção dos valores de precipitação máxima diária anual junto ao Hidroweb onde observou-se que a segunda equação, definida pelo Plano Diretor de Macrodrenagem da bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí (PCJ; Engenharia e Ambiente SA, 2021) utilizou intervalo de dados refinados desconsiderando os dados não confiáveis. Já a primeira equação (CPRM *et al.*, 2019) os dados utilizados não passaram por tal refinamento.

O intervalo de dados da equação refinada considerou o ano limite de 2014. Visando avaliar uma possível mudança recente do comportamento hidrológico

analisou-se os dados de precipitação máxima diária anual para o último intervalo de dados utilizados, entre 2007 e 2014, bem como os dos últimos anos entre 2015 e 2023 conforme disponibilizado na plataforma HIDROWEB para o posto de referência.

Para análise de possível variação estatística entre os grupos de dados 2007/2014 e 2015/2023 foram realizadas as estatísticas descritivas bem como o Teste T para duas amostras, e esta análise concluiu que não houve aumento significativo da precipitação média para o período analisado (2015 a 2023). Tal conclusão reforça a decisão de utilização da equação apresentada no Plano Diretor de Macrodrenagem da bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí (PCJ; Engenharia e Ambiente SA, 2021) que segue reproduzida abaixo:

$$i = \frac{949{,}14 \times (TR^{0{,}186})}{(t + 11{,}52)^{0{,}756}}$$

Onde:

i = Intensidade Pluviométrica (mm/h)

TR = Tempo de Retorno (anos)

t = Duração da Chuva / Tempo de Concentração (min)

4.1.2 Dados Físicos – Vistoria

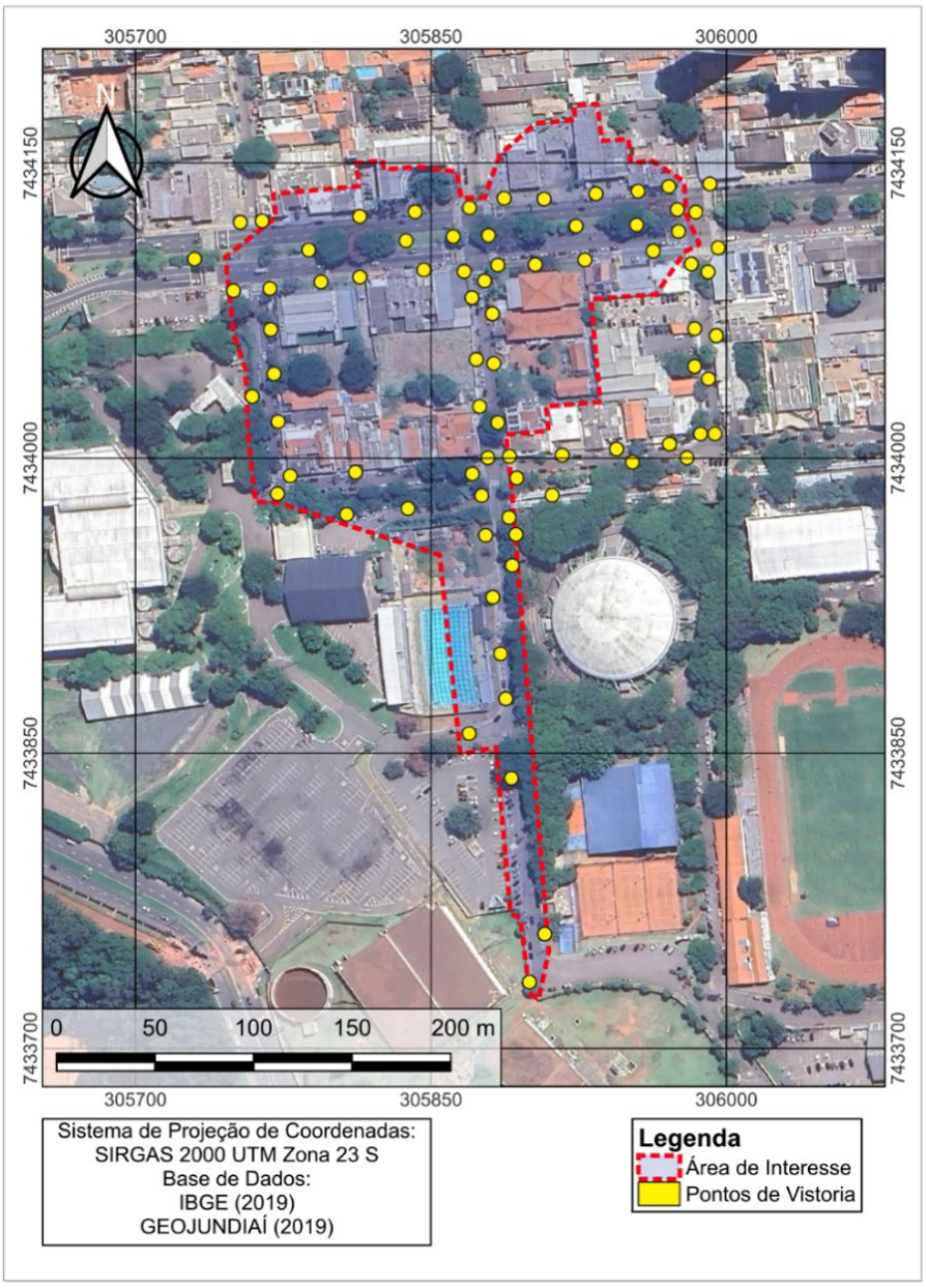
Para a obtenção dos dados físicos do recorte de estudo e compreender a existência e caminhamento do sistema de drenagem existente, foram realizadas vistorias na região. Essas vistorias possibilitaram a delimitação da bacia de contribuição, considerando as contribuições externas atuantes no trecho, proveniente dos terrenos vagos e imóveis existentes.

Foram realizadas também análises de plantas de levantamento topográfico e imagens aéreas do local e juntamente com as vistorias, essa análise contemplou a caracterização das seguintes variáveis: delimitação das sub-bacias e suas áreas, aferição da largura e declividade das sub-bacias e identificação das áreas permeáveis e impermeáveis.

A **Figura 19** apresenta a área total de intervenção e os pontos vistoriados. Durante as vistorias, foram capturadas informações e imagens de um total de 77 pontos. Para os pontos vistoriados, foram verificadas características como: posição de deságue no viário provenientes dos imóveis, tipo de revestimento e ocupação do solo, caminhamento da rede de drenagem existente, presença de dispositivos

superficiais como sarjetões e valetas, entre outras características relevantes para a pesquisa. A **Figura 20 a Figura 23** apresentam o detalhamento de 4 locais de forma que sejam compreendidos os dados obtidos nas vistorias.

Figura 19. Pontos verificados na vistoria



Dentre os 77 pontos vistoriados, todos os locais que apresentavam características que influenciam na definição das bacias de contribuição tiveram uma análise criteriosa como a apresentada para os Pontos 1, 2, 3 e 4 em seguida. A **Figura 20** apresenta as informações obtidas para um ponto específico denominado P1, onde foi possível analisar o posicionamento do deságue das águas de cobertura do imóvel

localizado neste ponto. Toda a região possui desagues externos, sendo diretamente na via ou no passeio como pode ser observado.

Figura 20. Detalhamento do Ponto P1.

A **Figura 21**, apresenta as informações obtidas para o Ponto 2. Nesse ponto, foi possível analisar o caminhamento dos fluxos superficiais. Observa-se que há um sarjetão que divide o fluxo permitindo traçar os divisores das bacias contribuintes. Esse processo se repetiu para todos os extremos da bacia contribuinte.

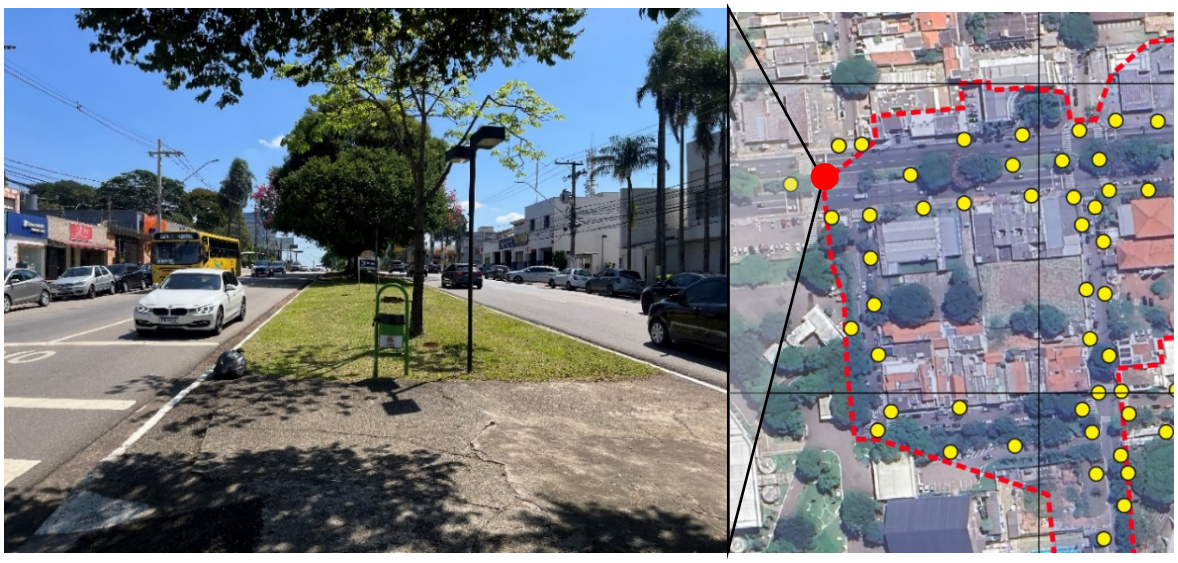
Figura 21. Detalhamento do Ponto P2.

A **Figura 22** apresenta o Ponto 3, onde foi possível analisar o estado de conservação do sistema de drenagem existente, bem como o seu posicionamento junto às bacias e vias. É importante ressaltar que esta pesquisa não avaliará a capacidade hidráulica do sistema de drenagem existente, mas o escoamento superficial direto concentrado no ponto de análise.

Figura 22. Detalhamento do Ponto P3.

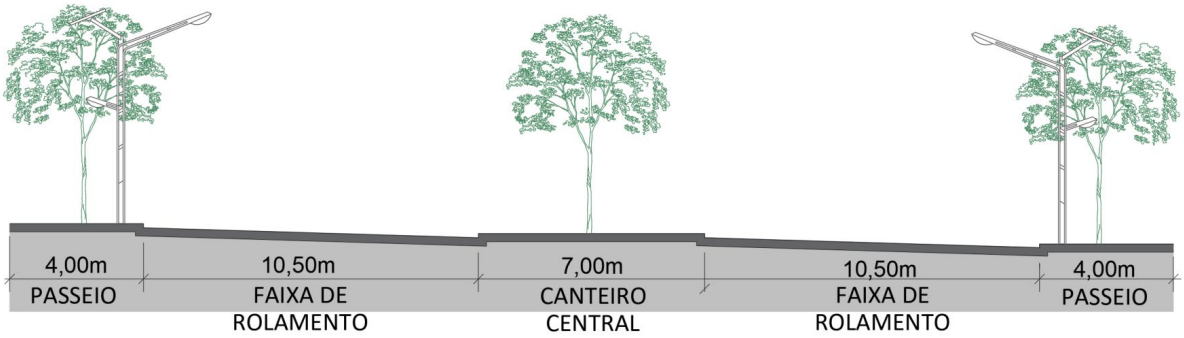
Por fim, a **Figura 23** apresenta as informações obtidas para o Ponto 4, permitindo analisar o posicionamento dos pontos altos da bacia, bem como características do recorte principal localizado na Avenida Jundiaí.

Figura 23. Detalhamento do Ponto P4.



A área total para o trecho de recorte é de 8.000 m² (área compreendida entre o alinhamento predial dos imóveis). Além disso, há uma variação de cotas entre 766 e 759 para uma distância total efetiva de estudo de 240m caracterizando declividade de 3,00%. As dimensões da via existente são apresentadas na **Figura 24**, e os dados foram obtidas por meio de vistoria no local, bem como validação com levantamento planialtimétrico e imagens aéreas fornecidas pela PMJ.

Figura 24. Características físicas da Av. Jundiaí no trecho de recorte.

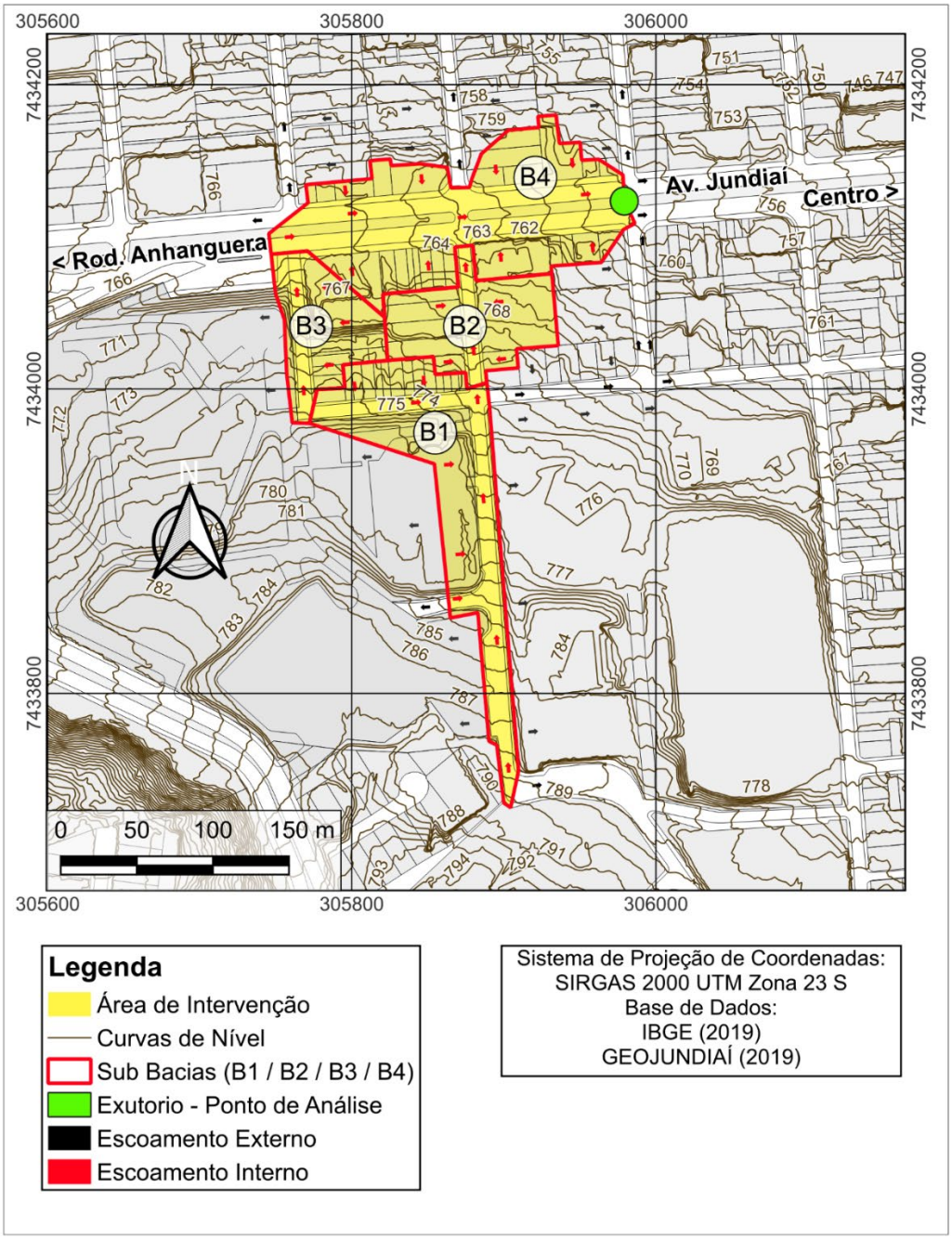


4.1.3 Dados físicos – Sub-bacias, áreas permeáveis, impermeáveis e exutório

O recorte possui uma bacia de contribuição bem definida e regular. Para representar a situação real do recorte, foram consideradas as bacias contribuintes do trecho a montante, definindo desta forma a contribuição real entre o ponto alto da bacia e o exutório considerado. Conforme pode ser observado na **Figura 25**, as bacias à montante do trecho de estudo foram caracterizadas e divididas com análise do sentido do escoamento superficial, tanto no interior das bacias quanto nos trechos à montante e jusante. Essa análise é necessária para determinação dos limites e, consequentemente, as áreas de contribuição e demais parâmetros.

Foram caracterizadas 4 (quatro) bacias de contribuição que contribuem no exutório de análise. Estas bacias são interligadas de forma que o fluxo se concentre superficialmente no trecho do recorte, representado pela Bacia 04.

Figura 25. Bacias de contribuição do recorte de estudo



Com a definição das posições das bacias contribuintes, sentidos de escoamento e contribuições, foram obtidas as áreas de contribuição permeáveis e impermeáveis. Foram realizadas as vetorizações das áreas com a utilização do software *Autodesk Civil 3D* e desta forma foi possível categorizar as bacias com base no tipo de revestimento, e após a caracterização, obteve-se os parâmetros a serem utilizados na pesquisa. Os tipos de uso de solo e revestimento foram agrupados em duas divisões principais sendo:

- Áreas de sistema viário (SV): subdivididas em 3 áreas, sendo áreas com pavimentação e circulação de veículos (faixas de rolamento), áreas de passeios/calçadas com circulação de pedestres e áreas permeáveis (jardins e canteiros);
- Áreas de lotes: subdivididas em 2 áreas, sendo áreas impermeáveis para as construções e áreas ocupadas (passeios e caminhos pavimentados) e áreas permeáveis (jardins e áreas verdes localizadas no interior dos lotes).

A **Tabela 11** apresenta um resumo das divisões que foram aplicadas na vetorização.

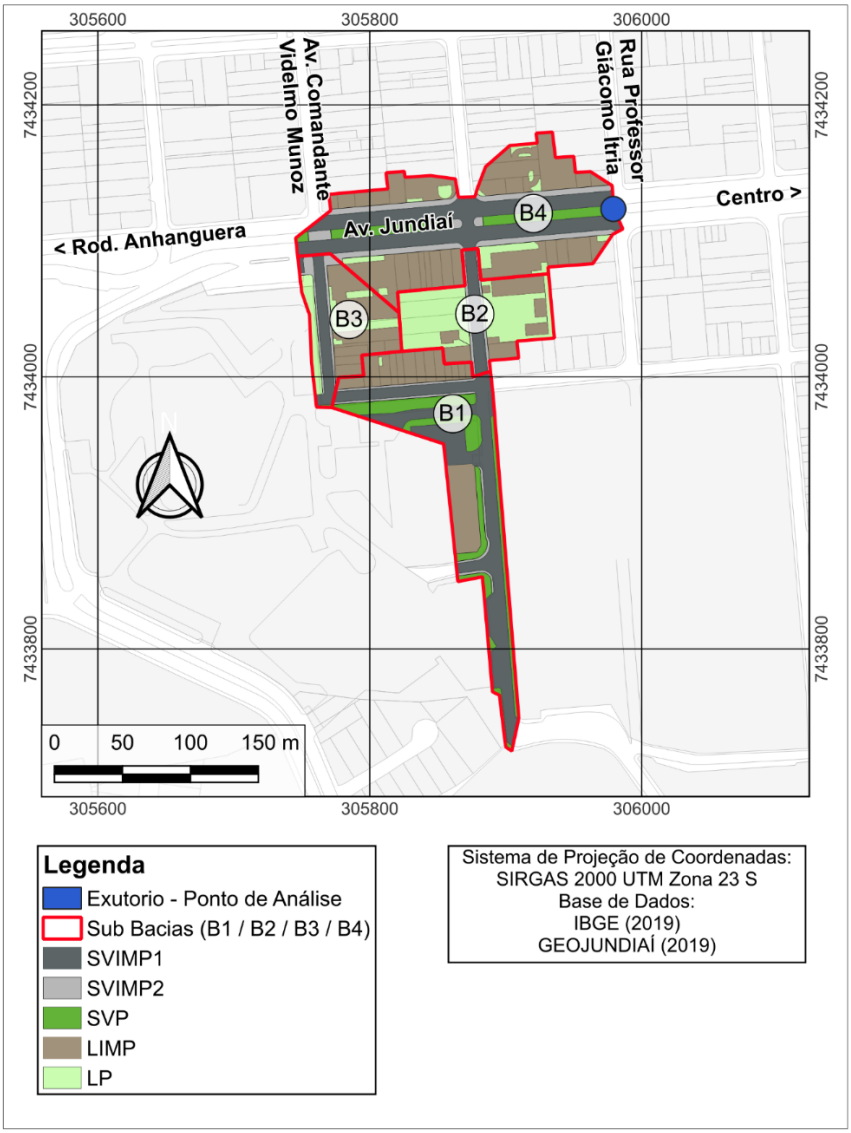
Tabela 11. Classificação interna das sub-bacias

Área	Tipo	Classificação	Sigla
Áreas de Sistema Viário (SV)	Faixas de Rolamento	Impermeável	SVIMP1
	Passeios	Impermeável	SVIMP2
	Jardins	Permeável	SVP
Área de Lotes (L)	Construções e Passeios	Impermeável	LIMP
	Jardins	Permeável	LP

A **Figura 26** apresenta as informações de cada uma das bacias de contribuição, com a representação das áreas permeáveis e impermeáveis tanto para o trecho do sistema viário, quanto para o trecho dos lotes, conforme categorização indicada anteriormente para toda a área de intervenção incluindo o recorte principal na Av. Jundiaí.

Conforme pode ser observado na **Figura 26** o exutório final e ponto de análise do recorte, encontra-se no encontro da Avenida Jundiaí com a Rua Professor Giácomo Ítria ao final da Bacia 04, que é a região mais baixa das bacias avaliadas. Na figura, é possível identificar a sequência de contribuição das bacias, partindo do ponto mais a montante junto a Bacia B1, seguindo para a Bacia B2 e, posteriormente, atingindo a Bacia B4. Em paralelo, a Bacia B3 contribui para a Bacia B4, que acumula a contribuição e segue para o ponto final (exutório).

Figura 26. Identificação de áreas permeáveis, impermeáveis da bacia e exutório



4.1.4 Definição dos parâmetros de input

Os estudos apresentados nesta pesquisa utilizaram o software PCSWMM, desenvolvido pela empresa CHI *(Computational Hydraulics Inc.),* empresa localizada em Ontario, Canadá. A base do PCSWMM utiliza-se do motor do software SWMM, desenvolvido pela EPA US. O SWMM é um software livre que vem sendo utilizado largamente em estudos atuais relacionados ao manejo de águas pluviais para bacias simples e complexas, bem como análise da qualidade de água e soluções mitigadoras para bacias de contribuição de diferentes escalas (Fileni; Costa; Alves, 2019; Bezerra et al., 2020; Silva et al., 2019).

O sistema utiliza um modelo dinâmico e complexo de transformação chuva – vazão, sendo possível simular séries definidas de precipitação com características de eventos isolados ou eventos de longa duração. As análises sobre a quantidade e qualidade dos escoamentos para as bacias modeladas são realizadas de forma individual para cada sub-bacia, controlando as taxas totais de escoamento, profundidades de escoamentos e a qualidade da água para o período de simulação configurado. Mediante a modelagem de base dos parâmetros hidrológicos e físicos da bacia, é possível ainda a inclusão de LIDs possuindo como opção, jardins de chuva, telhados verdes, cisternas, pavimentos permeáveis, valas e trincheiras de infiltração (Rossman, 2015).

A presente pesquisa irá avaliar o escoamento superficial (run-off) acumulado no exutório (ponto de análise) após percorrer as bacias contribuintes não avaliando capacidade hidráulica de redes ou sistemas de drenagem existentes no local. As análises serão sobre a situação atual, cenários base e cenários derivados com implantação de soluções mitigadoras como aumento da área permeável de lotes, pavimento permeável, jardim de chuva e cenários combinados.

4.1.4.1 Parâmetros hidrológicos

No presente estudo, inicialmente foram consideradas eventos com diferentes DCs e diferentes TRs, podendo desta forma, obter uma grande quantidade de resultados para análise e compreensão da sensibilidade destes parâmetros. Os TRs utilizados em pesquisas com este mesmo objetivo normalmente são de 5 e 10 anos (Arjenaki et al., 2021;Le Floch et al., 2022). No entanto, visando a obtenção de resultados mais amplos, a presente pesquisa utilizará inicialmente os tempos de retorno de 2, 5, 10 e 25 anos. Quanto às DCs consideradas, buscou-se também uma abrangência significativa com durações de chuva de 10, 60 e 120 minutos conforme estudos de Kim et al. (2018), Chapman; Hall (2022) e Ferrans et al. (2023). Esta gama de parâmetros hidrológicos permitiu uma análise de sensibilidade sobre os resultados das simulações e para os cenários derivados, os parâmetros hidrológicos foram reduzidos.

Para obtenção dos volumes atuantes, foi necessário a realização da discretização das chuvas com utilização de metodologia dos blocos alternados, onde a precipitação total é distribuída no tempo da duração da chuva, considerando

intervalos menores de análise da precipitação (2 minutos) sendo o pico da intensidade localizada à metade da duração total da chuva (Canholi, 2015). Com isso obteve-se os valores da precipitação para diferentes DCs e TRs. Esses dados foram utilizados como parâmetro hidrológico de entrada nos modelos do PCSWMM. A **Tabela 12** à **Tabela 15** referem-se aos valores de precipitação para as durações de chuva de 10, 60 e 120 minutos e tempos de retorno de 2, 5, 10 e 25 anos.

Tabela 12. Valores de precipitação (mm/h) para DC de 10 minutos e TR de 2, 5, 10 e 25 anos.

t (min)	2 (anos)	5 (anos)	10 (anos)	25 (anos)
00:02	73,617	87,296	99,309	117,762
00:04	100,151	118,761	135,103	160,207
00:06	150,766	178,781	203,382	241,173
00:08	120,901	143,367	163,095	193,400
00:10	85,037	100,838	114,714	136,029

Tabela 13. Valores de precipitação (mm/h) para DC de 30 minutos e TR de 2, 5, 10 e 25 anos.

t (min)	2 (anos)	5 (anos)	10 (anos)	25 (anos)
00:02	34,331	40,711	46,313	54,918
00:04	39,761	47,149	53,637	63,604
00:06	47,139	55,899	63,591	75,407
00:08	57,652	68,365	77,772	92,223
00:10	73,617	87,296	99,309	117,762
00:12	100,151	118,761	135,103	160,207
00:14	150,766	178,781	203,382	241,173
00:16	120,901	143,367	163,095	193,400
00:18	85,037	100,838	114,714	136,029
00:20	64,732	76,760	87,323	103,549
00:22	51,897	61,540	70,009	83,017
00:24	43,149	51,167	58,208	69,024
00:26	36,852	43,700	49,714	58,951
00:28	32,127	38,097	43,339	51,392
00:30	30,186	35,795	40,721	48,287

Tabela 14. Valores de precipitação (mm/h) para DC de 60 minutos e TR de 2, 5, 10 e 25 anos.

t (min)	2 (anos)	5 (anos)	10 (anos)	25 (anos)	t (min)	2 (anos)	5 (anos)	10 (anos)	25 (anos)
00:02	16,405	19,453	22,130	26,242	00:32	120,901	143,367	163,095	193,400
00:04	17,533	20,791	23,652	28,047	00:34	85,037	100,838	114,714	136,029
00:06	18,836	22,336	25,409	30,131	00:36	64,732	76,760	87,323	103,549
00:08	20,356	24,139	27,460	32,563	00:38	51,897	61,540	70,009	83,017
00:10	22,153	26,269	29,884	35,437	00:40	43,149	51,167	58,208	69,024
00:12	24,305	28,822	32,788	38,880	00:42	36,852	43,700	49,714	58,951
00:14	26,928	31,931	36,325	43,075	00:44	32,127	38,097	43,339	51,392
00:16	30,186	35,795	40,721	48,287	00:46	28,464	33,753	38,398	45,533
00:18	34,331	40,711	46,313	54,918	00:48	25,549	30,296	34,465	40,869
00:20	39,761	47,149	53,637	63,604	00:50	23,178	27,485	31,267	37,077
00:22	47,139	55,899	63,591	75,407	00:52	21,216	25,158	28,620	33,938
00:24	57,652	68,365	77,772	92,223	00:54	19,566	23,201	26,394	31,298
00:26	73,617	87,296	99,309	117,762	00:56	18,160	21,535	24,498	29,050
00:28	100,151	118,761	135,103	160,207	00:58	16,949	20,099	22,865	27,113
00:30	150,766	178,781	203,382	241,173	00:60	15,896	18,850	21,444	25,428

Tabela 15. Valores de precipitação (mm/h) para DC de 120 minutos e TR de 2, 5, 10 e 25 anos.

t (min)	2 (anos)	5 (anos)	10 (anos)	25 (anos)	t (min)	2 (anos)	5 (anos)	10 (anos)	25 (anos)
00:02	8,566	10,158	11,555	13,703	00:62	120,901	143,367	163,095	193,400
00:04	8,834	10,476	11,918	14,132	00:64	85,037	100,838	114,714	136,029
00:06	9,122	10,817	12,306	14,592	00:66	64,732	76,760	87,323	103,549
00:08	9,431	11,184	12,723	15,087	00:68	51,897	61,540	70,009	83,017
00:10	9,765	11,579	13,172	15,620	00:70	43,149	51,167	58,208	69,024
00:12	10,125	12,006	13,658	16,196	00:72	36,852	43,700	49,714	58,951
00:14	10,515	12,469	14,184	16,820	00:74	32,127	38,097	43,339	51,392
00:16	10,939	12,972	14,757	17,499	00:76	28,464	33,753	38,398	45,533
00:18	11,403	13,522	15,382	18,241	00:78	25,549	30,296	34,465	40,869
00:20	11,911	14,124	16,068	19,054	00:80	23,178	27,485	31,267	37,077
00:22	12,471	14,788	16,823	19,949	00:82	21,216	25,158	28,620	33,938
00:24	13,090	15,523	17,659	20,940	00:84	19,566	23,201	26,394	31,298
00:26	13,779	16,340	18,588	22,042	00:86	18,160	21,535	24,498	29,050
00:28	14,550	17,254	19,628	23,276	00:88	16,949	20,099	22,865	27,113
00:30	15,419	18,284	20,800	24,665	00:90	15,896	18,850	21,444	25,428
00:32	16,405	19,453	22,130	26,242	00:92	14,972	17,753	20,196	23,949
00:34	17,533	20,791	23,652	28,047	00:94	14,154	16,784	19,093	22,641
00:36	18,836	22,336	25,409	30,131	00:96	13,425	15,920	18,111	21,476
00:38	20,356	24,139	27,460	32,563	00:98	12,772	15,146	17,230	20,432
00:40	22,153	26,269	29,884	35,437	00:100	12,184	14,448	16,436	19,490
00:42	24,305	28,822	32,788	38,880	00:102	11,651	13,816	15,717	18,638
00:44	26,928	31,931	36,325	43,075	00:104	11,166	13,241	15,063	17,862
00:46	30,186	35,795	40,721	48,287	00:106	10,723	12,715	14,465	17,152
00:48	34,331	40,711	46,313	54,918	00:108	10,316	12,232	13,916	16,501
00:50	39,761	47,149	53,637	63,604	00:110	9,941	11,788	13,410	15,902
00:52	47,139	55,899	63,591	75,407	00:112	9,595	11,378	12,943	15,348
00:54	57,652	68,365	77,772	92,223	00:114	9,274	10,997	12,510	14,835
00:56	73,617	87,296	99,309	117,762	00:116	8,976	10,644	12,108	14,358
00:58	100,151	118,761	135,103	160,207	00:118	8,698	10,314	11,733	13,914
00:60	150,766	178,781	203,382	241,173	00:120	8,438	10,006	11,383	13,498

4.1.4.2 Parâmetros hidráulicos

4.1.4.2.1 Coeficientes de impermeabilização e infiltração

Para a presente pesquisa, a caracterização do tipo de solo e sua infiltração foram obtidas com a utilização do mapa pedológico do Estado de São Paulo, dados da PMJ, norma ABNT sobre pavimentos permeáveis bem como análise de publicações científicas relativas ao tema. Com a finalidade da obtenção dos parâmetros para modelagem no software, buscou-se referências para que fosse realizada uma correlação entre o tipo de solo predominante na região (solo LVA10) e os coeficientes de permeabilidade. A **Tabela 16** apresenta os valores típicos para o coeficiente de permeabilidade (K), conforme apresentado por Pinto (2006).

Tabela 16. Coeficientes de permeabilidade.

Grau de permeabilidade do solo	Coeficiente de permeabilidade K (cm/s)
Alto	> 10^{-1}
Médio	10^{-1} a 10^{-3}
Baixo	10^{-3} a 10^{-5}
Muito baixo	10^{-5} a 10^{-7}
Praticamente impermeável	< 10^{-7}

Fonte: Adaptado de Pinto (2006)

Segundo a ABNT (2015) por meio da NBR 16416/2015, é apresentado em sua tabela B.2, reproduzida na **Tabela 17**, os valores típicos de coeficiente de permeabilidade.

Tabela 17. Coeficientes de permeabilidade segundo NBR 16416.

Coeficiente de permeabilidade do solo k		Grau de permeabilidade do solo
m/s	mm/h	
> 10^{-3}	> 3600	Alta
10^{-3} a 10^{-5}	3600 a > 36	Média
10^{-5} a 10^{-7}	36 a > 0,36	Baixa
10^{-7} a 10^{-9}	0,36 a 0,0036	Muito baixa
< 10^{-9}	< 0,0036	Praticamente impermeável

Fonte: Adaptado de ABNT (2015)

Como o tipo de solo local predominante (LVA10) possui permeabilidade média a média alta, o valor de permeabilidade para o subsolo a ser considerado será o menor valor apresentado nas referências para o grau médio conforme indicado na **Tabela 18**.

Tabela 18. Coeficiente de permeabilidade a ser utilizado no estudo.

Coeficiente de permeabilidade K a ser considerado no estudo			Grau de permeabilidade do solo
cm/s	m/s	mm/h	
10^{-3}	10^{-5}	36	Média

Para a abordagem relativa à infiltração superficial será utilizada a metodologia do *CN* do *SCS*, onde são definidos parâmetros de CN baseados nas características do solo e utilização / cobertura do solo para áreas rurais e urbanas (Canholi, 2015), como apresentado na **Tabela 19** e **Tabela 20**.

Tabela 19. Grupo de solos e características do solo - Parâmetro CN

Grupo de solo	Características do solo
A	Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%. Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superficial. Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média.
C	Solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade. Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.
D	Solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos como do grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados. Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Fonte: Setzer; Porto (1979),Porto (1995) e Tucci (1993)

Tabela 20. Valores de CN - bacias urbanas.

Utilização ou cobertura do solo		Grupo de Solos			
		A	B	C	D
Zonas cultivadas:	sem conservação do solo	72	81	88	91
	com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios em boas condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim		45	66	77	83
Floresta: cobertura boa		25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições					
Com relva em mais de 75% da área		39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área		49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
Lotes de (m²)	% média impermeável				
<500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estacionamentos, telhados, viadutos, etc		98	98	98	98
Arruamentos e estradas					
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: (Tucci, 1993)

Conforme apresentado, as bacias de contribuição foram categorizadas em diferentes tipos de revestimento sendo possível definir os parâmetros CN de cada um dos tipos de revestimento. Feito isso, obteve-se os valores de CN médios por bacias considerando-se a aplicação de média ponderada entre as áreas e seus respectivos CNs para cada tipo de revestimento. O método SCS – CN categoriza o solo local conforme o grupo hidrológico e em função dessa categorização e características de ocupação, os valores de CN são definidos (Tucci, 1993).

Vale lembrar que o recorte de estudo é majoritariamente ocupado e impermeável portanto os valores de CN para este tipo de revestimento não são alterados conforme o tipo de solo (CN=98 para áreas impermeáveis), somente os CNs das áreas verdes e permeáveis que sofrem influência do tipo de solo apresentado no método. A **Tabela 21** apresenta os valores adotados no estudo conforme característica de revestimento para as bacias do local do recorte.

Tabela 21. Valores de CN considerados no estudo

Categoria	Descrição	Grupo Hidrológico		
		A	B	C
Sistema Viário	Fx de Rolamento (SVIMP1)	98	98	98
	Passeios (SVIMP2)	98	98	98
	Áreas Verdes (SVP)	39	61	74
Lotes	Construções (LIMP)	98	98	98
	Áreas Verdes (LP)	39	61	74

O **Quadro 3** apresenta um resumo dos valores das áreas para cada tipo de revestimento bem como os valores de CN para cada categorização e os valores de CN médio ponderado considerando os tipos de solo A, B e C que será utilizado nas modelagens.

Quadro 3. Informações das bacias e valores de CN médio ponderado

Bacia	Descrição		Área m²	Classif.	CN Solo A	CN Solo B	CN Solo C
B1	Sistema Viário	Fx Rolamento	5.366,83	Impermeável	98	98	98
		Passeios	534,70	Impermeável	98	98	98
		Jardins	2.730,47	Permeável	39	61	74
	Lotes	Construções	3.150,11	Impermeável	98	98	98
		Jardins	24,10	Permeável	39	61	74
	TOTAL		11.806,21	**CN médio ponderado**	**84**	**89**	**92**
B2	Sistema Viário	Fx Rolamento	786,12	Impermeável	98	98	98
		Passeios	357,36	Impermeável	98	98	98
		Jardins	0,00	Permeável	39	61	74
	Lotes	Construções	1.457,88	Impermeável	98	98	98
		Jardins	3.606,15	Permeável	39	61	74
	TOTAL		6.207,51	**CN médio ponderado**	**64**	**77**	**84**
B3	Sistema Viário	Fx Rolamento	930,03	Impermeável	98	98	98
		Passeios	476,40	Impermeável	98	98	98
		Jardins	0,00	Permeável	39	61	74
	Lotes	Construções	2.363,16	Impermeável	98	98	98
		Jardins	1.185,17	Permeável	39	61	74
	TOTAL		4.954,76	**CN médio ponderado**	**84**	**89**	**92**
B4	Sistema Viário	Fx Rolamento	5.048,39	Impermeável	98	98	98
		Passeios	2.023,16	Impermeável	98	98	98
		Jardins	1.267,15	Permeável	39	61	74
	Lotes	Construções	7.292,27	Impermeável	98	98	98
		Jardins	910,76	Permeável	39	61	74
	TOTAL		16.541,73	**CN médio ponderado**	**90**	**93**	**95**

4.1.4.2.2 Caracterização geral das sub-bacias contribuintes

Para a realização das simulações faz-se necessário as definições dos parâmetros físicos das sub-bacias. Os parâmetros de input necessários são apresentados na **Tabela 22**, e a obtenção dos parâmetros será detalhada nos tópicos seguintes.

Tabela 22. Parâmetros necessários à modelagem no PCSWMM.

Parâmetro PCSWMM	Descrição
Area	Área total da bacia em estudo
Width	Largura característica do escoamento superficial (bacia)
Slope	Declividade média da bacia em estudo
Imperv	Percentual (%) da área impermeável na bacia em estudo
N-Imperv	Número de Manning (n) da parcela impermeável da bacia
N-Perv	Número de Manning (n) da parcela permeável da bacia
Dstore-imperv	Altura de armazenamento em depressões nas áreas impermeáveis da bacia
Dstore-perv	Altura de armazenamento em depressões nas áreas permeáveis da bacia
Zero-imperv	Percentual (%) da área impermeável sem armazenamento em depressões
Infiltration	Edições específicas sobre parâmetros de infiltração da bacia
Land uses	Atribuição dos usos do solo (caso aplicável)

Fonte: Adaptado de Rossman (2015)

4.1.4.2.3 Áreas totais, largura média e declividade das sub-bacias contribuintes

Os parâmetros de largura e declividade da bacia possuem grande importância, pois são utilizados na determinação dos fluxos de cada sub-bacia. (Rossman, 2015). Em trabalhos similares (Kourtis; Tsihrintzis; Baltas, 2020; Silva et al., 2019), a largura média das bacias contribuintes foi obtida através de cálculos com a utilização de equações que relacionam a área e o perímetro da bacia. No presente estudo as larguras utilizadas foram as larguras reais, não sendo aplicadas formulações para sua determinação. Para determinação das declividades médias das bacias, também foram utilizados dados reais da área com a caracterização das cotas de início e fim das bacias, bem como a distância total entre os pontos. A **Tabela 23** apresenta os dados relativos as áreas totais das bacias, as larguras médias, as cotas nos trechos altos e baixos bem a extensão do trecho e a declividade obtida.

Tabela 23. Dados geométricos das bacias contribuintes

Bacia	Área (m²)	Largura média (m)	Cota mais alta	Cota mais baixa	Extensão (m)	Declividade média (%)
B1	11.806,21	38,00	790,00	772,00	276,00	6,60
B2	6.207,51	112,00	772,00	763,00	92,00	9,80
B3	4.954,76	66,00	776,00	766,00	113,00	8,90
B4	16.541,73	97,00	766,00	759,00	235,00	3,00
Total	39.510,21	-	-	-	-	-

4.1.4.2.4 Percentual de áreas permeáveis e impermeáveis para cada bacia

Com a caracterização das bacias, foi possível a obtenção dos percentuais gerais de áreas impermeáveis (no viário, áreas de pavimento e passeios e nos lotes áreas com construções e passeios) e permeáveis (no viário e nos lotes áreas verdes em geral, jardins e canteiros). A **Tabela 24** apresenta os valores totais de áreas impermeáveis, áreas permeáveis e totais para cada bacia podendo desta forma ser inserida no software de modelagem que considera as áreas totais e percentuais de impermeabilização (Rossman, 2015).

Tabela 24. Percentual de áreas permeáveis e impermeáveis para cada bacia.

Bacia	Descrição	Área	
		m²	%
B1	Impermeável	9.051,64	76,67%
	Permeável	2.754,57	23,33%
	Total	11.806,21	100,00%
B2	Impermeável	2.601,36	41,91%
	Permeável	3.606,15	58,09%
	Total	6.207,51	100,00%
B3	Impermeável	3.769,59	76,08%
	Permeável	1.185,17	23,92%
	Total	4.954,76	100,00%
B4	Impermeável	14.363,82	86,83%
	Permeável	2.177,91	13,17%
	Total	16.541,73	100,00%
Total	Impermeável	29.786,41	75,39%
	Permeável	9.723,80	24,61%
	Total	39.510,21	100,00%

4.1.4.2.5 Coeficiente de rugosidade manning “n” para áreas permeáveis e impermeáveis das sub-bacias e alturas de armazenamento em depressões.

O coeficiente de manning deve ser definido em função dos diferentes tipos de cobertura e característica do solo, obtendo-se assim o manning para áreas permeáveis (N-perv) e o manning para áreas impermeáveis (N-Imperv).

Segundo Canholi (2015) o coeficiente de manning para áreas impermeáveis variando de 0,011 a 0,024 dependendo do tipo de revestimento. Como existem nas bacias áreas impermeáveis representadas pelos telhados que possuem rugosidade acentuada, será utilizado o valor máximo das recomendações que é 0,024. São apresentados também os coeficientes de manning para áreas gramadas como 0,15 a 0,24 e vegetação arbustiva de 0,40 a 0,80. Como a região de estudo não possui vegetações arbustivas de grande porte agrupadas, será utilizado o coeficiente de rugosidade de manning de 0,15 como sendo o menor valor mínimo recomendado.

Também é necessário considerar as condições de retenção de água em depressões durante a precipitação simulada. Na presente pesquisa foram adotados os valores sugeridos no manual do software (Rossman, 2015). A **Tabela 25** apresenta os valores de manning a serem considerados para as parcelas impermeáveis (N-Imperv) e para as parcelas permeáveis (N-Perv) bem como os valores de armazenamento em depressão.

Tabela 25. Valores de manning "n" e depressões a serem utilizados.

Parâmetro PCSWMM	Descrição	Valor considerado
N-Imperv	Número de Manning (n) da parcela impermeável da bacia	0,024
N-Perv	Número de Manning (n) da parcela permeável da bacia	0,15
Dstore-imperv	Altura de armazenamento em depressões nas áreas impermeáveis da bacia	2,54
Dstore-perv	Altura de armazenamento em depressões nas áreas permeáveis da bacia	5,00

4.2 Sensibilidade dos parâmetros de input para a situação atual: Parâmetros Hidrológicos e Coeficiente CN

A fim de compreender a sensibilidade de resultados com a variação dos parâmetros TR e DC, bem como os valores de CN categorizados nos grupos A, B e C, foram realizadas as simulações para a situação atual podendo avaliar os resultados com diversos parâmetros e, após análises estatísticas, definir quais parâmetros serão utilizados nos cenários futuros propostos. A simulação da situação atual do recorte obteve VP e VA no exutório. No software, as bacias são analisadas de forma isolada e, mediante o balanço hídrico das bacias em função das áreas permeáveis, áreas impermeáveis, larguras, declividades, coeficientes de rugosidade e demais parâmetros, os volumes e vazões são acumuladas a cada bacia avaliada, seguindo de montante para jusante. Esse processo é repetido para cada bacia, resultando nos valores finais para o exutório (Rossman, 2015). Para modelagem da situação atual junto ao PCSWMM, foram utilizados os parâmetros descritos na **Tabela 26 a Tabela 28**

Tabela 26. Parâmetros gerais para modelagem no PCSWMM.

Parâmetro PCSWMM	Parâmetro geral considerado
Períodos de retorno	2, 5, 10 e 25 anos
Durações da chuva	10, 60 e 120 minutos
Modelo de infiltração	Método CN – SCS (grupos A, B e C)

Tabela 27. Parâmetros específicos das bacias para modelagem no PCSWMM.

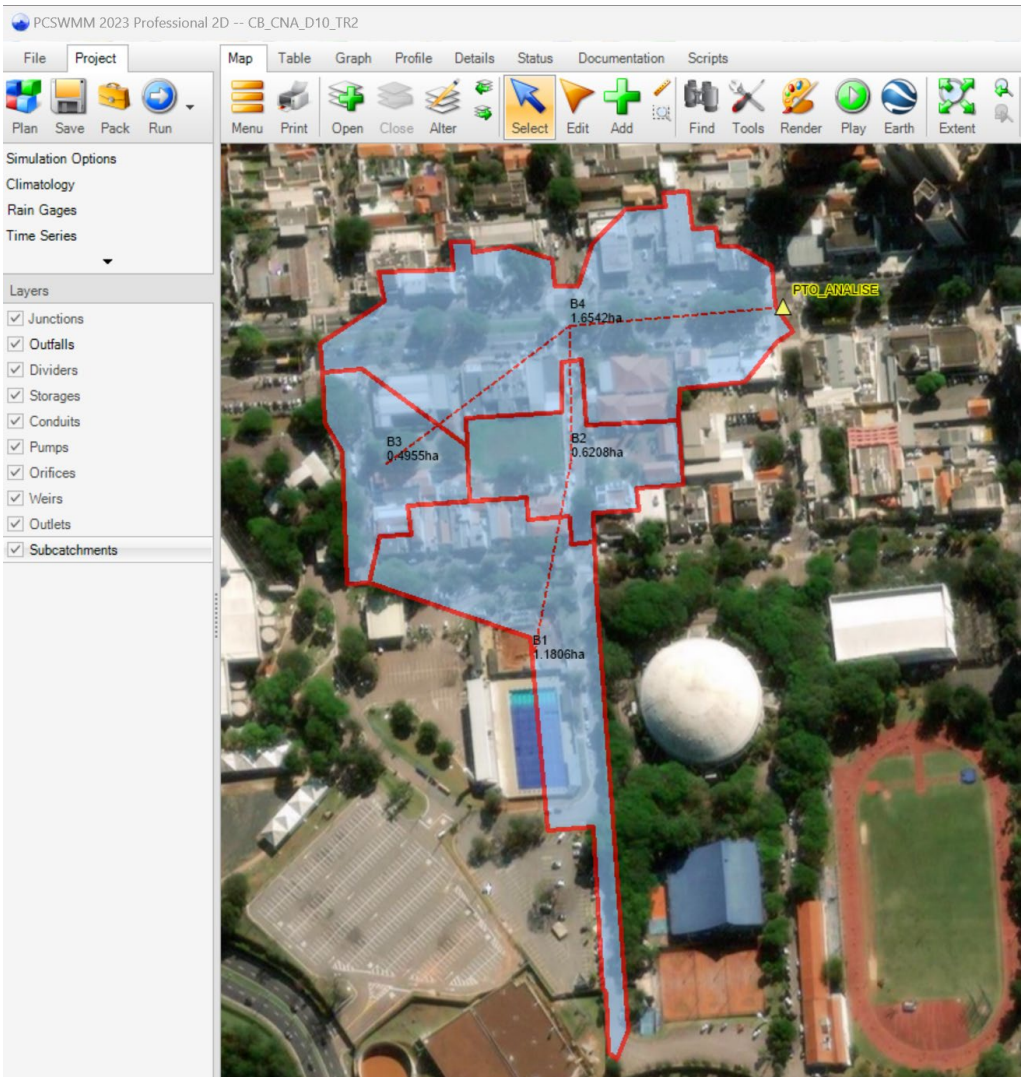
Bacia	Área total (m²)	Largura (m)	Declividade média (%)	Percentual da área impermeável (%)
B1	11.806,21	38,00	6,60%	76,67%
B2	6.207,51	112,00	9,80%	41,91%
B3	4.954,76	66,00	8,90%	76,08%
B4	16.541,73	97,00	3,00%	86,83%

Tabela 28. Parâmetros específicos das bacias para modelagem no PCSWMM (continuação).

BACIA	Coeficientes CN (média ponderada)			N-imperv	N-Perv	Dstore-imperv (mm)	Dstore-perv (mm)
	Solo A	Solo B	Solo C				
B1	84	89	92	0,024	0,150	2,54	5,00
B2	64	77	84	0,024	0,150	2,54	5,00
B3	84	89	92	0,024	0,150	2,54	5,00
B4	90	93	95	0,024	0,150	2,54	5,00

A **Figura 27** apresenta área de estudo modelada no software PCSWMM. O software utiliza o sistema de satélite *Bing,* permitindo avaliar as imagens aéreas da região. As divisões das bacias estão indicadas com os polígonos em vermelho, a área das bacias com hachura azul e os caminhamentos dos fluxos entre as bacias pode ser identificado com as linhas tracejadas em vermelho. Por fim, observa-se o exutório indicado com o símbolo de um triângulo na cor amarela junto a Bacia 4.

Figura 27. Modelagem realizada no PCSWMM - Interface do software



4.2.1 Definição do grupo de solo (CN)

Conforme apresentado, a situação atual foi simulada para diversos grupos de solo e seus respectivos valores de CN obtendo-se desta forma os resultados de VP e VA para diferentes DC e TR. A **Tabela 29**, a **Figura 28** e **Figura 29** apresentam os resultados de VP e VA para a situação atual. Nota-se que as variações de resultados entre diferentes tipos de solo (grupos A, B e C) são pouco expressivas. De posse dos resultados da situação atual, foram realizadas análises estatísticas a fim de compreender o impacto nos resultados para a variação dos coeficientes CN.

Tabela 29. Resultados de VP e VA para Solos tipo A, B e C

DC (min)	TR (anos)	SOLO A		SOLO B		SOLO C	
		VP (m³/s)	VA (m³)	VP (m³/s)	VA (m³)	VP (m³/s)	VA (m³)
10	2	0,468	364	0,471	375	0,475	391
	5	0,603	457	0,610	475	0,618	499
	10	0,728	543	0,740	567	0,752	598
	25	0,930	679	0,951	715	0,972	753
60	2	0,734	1273	0,761	1325	0,787	1368
	5	0,929	1557	0,966	1620	0,999	1670
	10	1,104	1810	1,149	1882	1,187	1938
	25	1,379	2203	1,436	2288	1,481	2351
120	2	0,804	1683	0,836	1745	0,863	1793
	5	1,000	2049	1,041	2123	1,073	2177
	10	1,177	2374	1,224	2457	1,260	2516
	25	1,457	2877	1,514	2974	1,555	3040

Figura 28. Resultado de VP para Solos tipo A, B e C

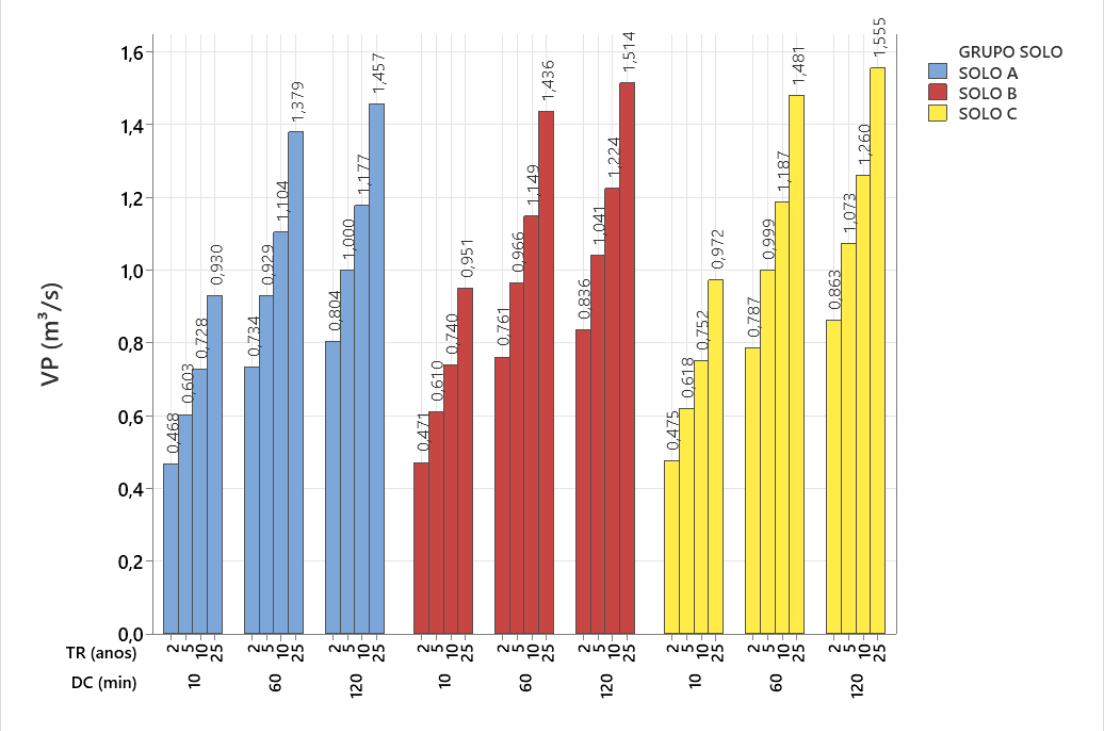
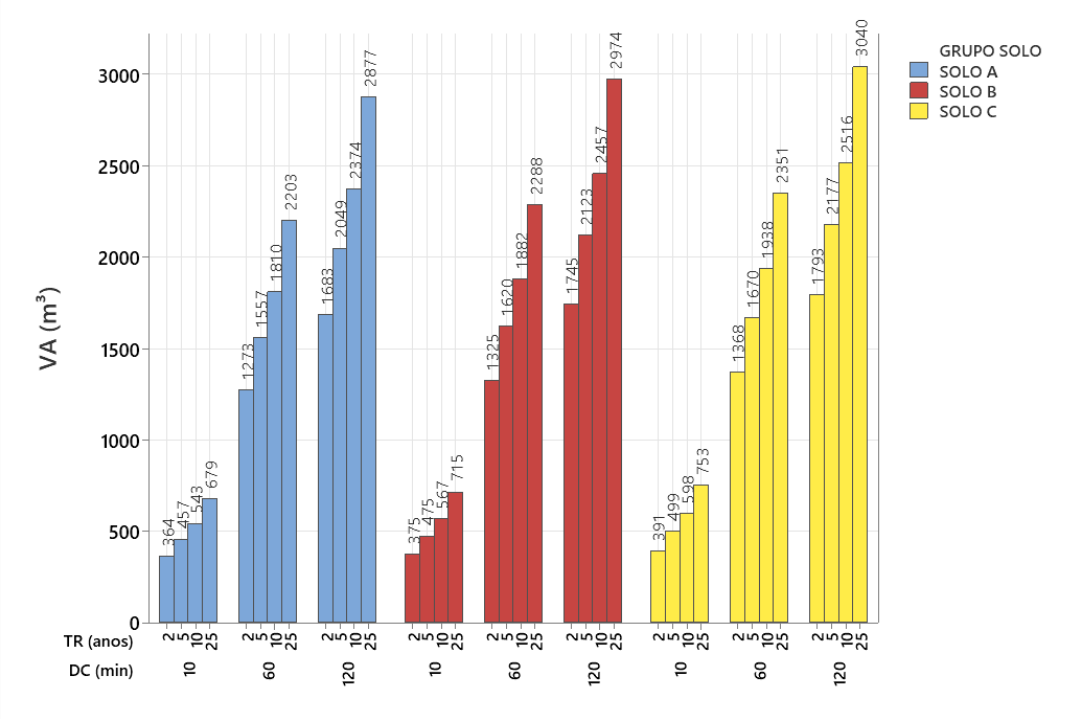


Figura 29. Resultado de VA para Solos tipo A, B e C



Posteriormente foi realizada a análise de variância (ANOVA) com teste de Tukey com 95% de confiança. A **Tabela 30 a Tabela 32** apresentam os resultados encontrados para a análise de variância e teste de Tukey para as médias dos grupos de solo A, B e C em cada uma das DCs simuladas considerando a variável VP e a **Tabela 33** a **Tabela 35** considera a variável VA (VA).

Tabela 30. Análise de Variância para DC 10, 60 e 120 min. para VP

DC	Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor -P
10 minutos	CN	2	0,000968	0,000484	0,01	0,988
	Erro	9	0,374567	0,041619		
	Total	11	0,375536			
60 minutos	CN	2	0,01188	0,005941	0,07	0,93
	Erro	9	0,73133	0,081259		
	Total	11	0,74322			
120 minutos	CN	2	0,01232	0,006158	0,08	0,928
	Erro	9	0,73775	0,081972		
	Total	11	0,75006			

Tabela 31. Médias para DC 10, 60 e 120 min. para VP

DC	CN	N	Média	DesvPad	IC de 95%
10 minutos	SOLO A	4	0,68	0,196	(0,451; 0,913)
	SOLO B	4	0,69	0,204	(0,462; 0,924)
	SOLO C	4	0,70	0,211	(0,474; 0,935)
60 minutos	SOLO A	4	1,04	0,274	(0,714; 1,359)
	SOLO B	4	1,08	0,286	(0,756; 1,400)
	SOLO C	4	1,11	0,294	(0,791; 1,436)
120 minutos	SOLO A	4	1,11	0,277	(0,786; 1,433)
	SOLO B	4	1,15	0,288	(0,830; 1,478)
	SOLO C	4	1,19	0,294	(0,864; 1,512)

Tabela 32. Informações de Agrupamento – Método de Tukey e 95% de Confiança para DC 10, 60 e 120 min. para VP

DC	CN	N	Média	Agrupamento
10 minutos	SOLO C	4	0,68	A
	SOLO B	4	0,69	A
	SOLO A	4	0,68	A
60 minutos	SOLO C	4	1,11	A
	SOLO B	4	1,08	A
	SOLO A	4	1,04	A
120 minutos	SOLO C	4	1,19	A
	SOLO B	4	1,15	A
	SOLO A	4	1,11	A

Tabela 33. Análise de Variância para DC 10, 60 e 120 min. para VA

DC	Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor -P
10 minutos	CN	2	4917	2459	0,12	0,890
	Erro	9	187356	20817		
	Total	11	192273			
60 minutos	CN	2	29432	14716	0,09	0,916
	Erro	9	1490648	165628		
	Total	11	1520080			
120 minutos	CN	2	37186	18593	0,07	0,934
	Erro	9	2426017	269557		
	Total	11	2463203			

Tabela 34. Médias para DC 10, 60 e 120 min. para VA

DC	CN	N	Média	DesvPad	IC de 95%
10 minutos	SOLO A	4	510,8	133,9	(347,6; 673,9)
	SOLO B	4	533,0	144,5	(369,8; 696,2)
	SOLO C	4	560,3	153,8	(397,1; 723,4)
60 minutos	SOLO A	4	1711	395	(1250; 2171)
	SOLO B	4	1779	409	(1318; 2239)
	SOLO C	4	1832	417	(1371; 2292)
120 minutos	SOLO A	4	2246	507	(1659; 2833)
	SOLO B	4	2325	521	(1738; 2912)
	SOLO C	4	2382	529	(1794; 2969)

Tabela 35. Informações de Agrupamento – Método de Tukey e 95% de Confiança para DC 10, 60 e 120 min. Para VA

DC	CN	N	Média	Agrupamento
10 minutos	SOLO C	4	560,3	A
	SOLO B	4	533,0	A
	SOLO A	4	510,8	A
60 minutos	SOLO C	4	1832	A
	SOLO B	4	1779	A
	SOLO A	4	1711	A
120 minutos	SOLO C	4	2382	A
	SOLO B	4	2325	A
	SOLO A	4	2246	A

Os resultados apresentados nas análises de variância (ANOVA) mostram o valor F reduzidos, valores de -P acima de 0,05 bem como agrupamento único para o método de Tukey demonstrando que não ocorre variação estatística entre os

diferentes grupos de solo A, B e C. Com base nisso, as demais simulações para os cenários apresentados, serão realizadas somente para o Grupo de solo B por representar de forma satisfatória a média dos resultados não possuindo variação estatística com os demais grupos de solo (A e C).

4.2.2 Definição da Duração de Chuva (DC)

Com a definição do grupo de solo B agrupou-se os resultados de VP e VA deste grupo para cada DC em função dos diferentes TRs. Para cada DC (10, 60 e 120 minutos) foram realizadas análises de regressão linear e quadrática para os TRs 2, 5, 10 e 25. A realização destas regressões para VP e VA resultou os valores de R^2 apresentados na **Tabela 36** e **Tabela 37.**

Tabela 36. Resultado das análises de regressão realizadas para VP

DC	Regressão	Equação	R^2	R^2 ajus
10	Linear	VP = 0,4897 + 0,01936 TR	93,93%	90,90%
	Quadrática	VP = 0,3954 + 0,04400 TR – 0,000872 TR^2	99,67%	99,00%
60	Linear	VP = 0,7940 + 0,27075 TR	92,99%	89,49%
	Quadrática	VP = 0,6522 + 0,06410 TR – 0,001312 TR^2	99,57%	98,72%
120	Linear	VP = 0,8683 + 0,02719 TR	93,14%	89,71%
	Quadrática	VP = 0,7274 + 0,06400 TR – 0,001303 TR^2	99,57%	98,72%

Tabela 37. Resultado das análises de regressão realizadas para VA

DC	Regressão	Equação	R^2	R^2 ajus
10	Linear	VA = 389,3 + 13,69 TR	93,65%	90,48%
	Quadrática	VA = 321,1 + 31,50 TR – 0,6307 TR^2	99,64%	98,91%
60	Linear	VA = 1374 + 38,54 TR	92,77%	89,16%
	Quadrática	VA = 1169 + 92,23 TR – 1,901 TR^2	99,56%	98,68%
120	Linear	VA = 1809 + 49,15 TR	92,70%	89,05%
	Quadrática	VA = 1545 + 118,0 TR – 2,436 TR^2	99,55%	98,65%

Avaliando-se os altos valores de R^2 encontrados, nota-se que as três DCs simuladas apresentam resultados confiáveis podendo ser representados em regressões lineares e quadráticas. Nota-se também que os resultados de R^2 são muito próximos, tanto para VP quanto para VA, portanto para as simulações dos cenários derivados, optou-se pela utilização somente da DC intermediária de 60 minutos conforme estudos de Kourtis; Tsihrintzis; Baltas (2020) e Rodrigues; Santini Junior, (2021).

4.2.3 Tempo de retorno (TR)

Para verificação dos TRs a serem utilizados realizou-se análise similar para definição da DC, porém excluindo-se o TR 5 anos e utilizando-se somente a regressão linear pois, devido à baixa quantidade de dados para cada DC (3 dados) a regressão quadrática traria um resultado de 100% para o R² não refletindo a realidade. A **Tabela 38** apresenta os resultados de R² com a exclusão do TR 5 anos para cada DC considerando VP e a **Tabela 39** apresenta os resultados de R² para VA.

Tabela 38. Resultado das análises de regressão realizadas para VP retirando-se o TR 5

DC	Regressão	Equação	R²	R² ajus
10	Linear	VP = 0,4740 + 0,02000 TR	94,18%	88,37%
60	Linear	VP = 0,7695 + 0,02804 TR	93,39%	86,77%
120	Linear	VP = 0,8438 + 0,02818 TR	93,53%	87,06%

Tabela 39. Resultado das análises de regressão realizadas para VA retirando-se o TR 5

DC	Regressão	Equação	R²	R² ajus
10	Linear	VA = 377,8 + 14,15 TR	93,95%	87,90%
60	Linear	VA = 1339 + 39,97 TR	93,18%	86,36%
120	Linear	VA = 1763 + 51,00 TR	93,13%	86,25%

Os resultados demonstraram pequena redução nos valores de R² após a retirada do TR 5 anos, porém ainda significativos sendo acima de 93,13% e R² ajustado acima de 86,36%. Estes resultados demonstram que a exclusão do TR 5 anos não prejudica a validação dos resultados pois pode ser entendido como um valor intermediário e, de certa forma, redundante. Com base no apresentado, as demais simulações para cenários base, cenários de escala de lote, viário e combinados irão excluir o tempo de retorno de 5 anos mantendo os tempos de retorno de 2, 10 e 25 anos em conjunto com a duração de 60 min. e tipo de solo B já definidos anteriormente.

4.3 Cenários de estudo

Na presente pesquisa serão realizadas um total de 138 simulações para 35 cenários com variações de parâmetros de input sendo agrupados para a situação atual e cenários base a fim de obter os resultados iniciais de comparação, e cenários com a implantação de soluções mitigadoras para a escala de lote, cenários para escala do viário e cenários combinados.

4.3.1 Cenários para escala de Lote - CAL1 e CAL2

Para a escala de lotes foram definidos dois cenários, CAL1 e CAL2, totalizando 6 simulações sendo 3 para cada cenário utilizando como base a situação atual, sem qualquer alteração no viário. O cenário atual lotes (CAL1 e CAL2) apresenta uma solução mitigadora em escala de lote considerando variações no percentual da área permeável dos lotes. Tal consideração é válida para todas as bacias contribuintes (Bacias 01 a 04).

O local do recorte faz parte da Zona de Desenvolvimento Urbano no município. Segundo o plano diretor (Lei 9321/2019 – Plano Diretor de Jundiaí), a taxa de permeabilidade mínima exigida é de 20%. Além disso, outras regiões da cidade apresentam percentual mínimo de permeabilidade de 30%. Por este motivo, os cenários CAL1 e CAL2 irão simular as áreas permeáveis mínimas dos lotes como 30% e 20%, respectivamente. Dessa forma, será avaliado o impacto na VP e VA quando as áreas permeáveis mínimas nos lotes respeitam estes percentuais.

A consideração de área permeável mínima para os lotes altera os valores de CN das médias ponderadas por bacia. A **Tabela 40** apresenta os valores das áreas permeáveis e impermeáveis para os lotes no cenário CAL1 e a **Tabela 41** apresenta os valores de percentual impermeável total e valor de CN médio ponderado para as bacias contribuintes. Para o cenário CAL2, estes dados são apresentados na **Tabela 42** e **Tabela 43**.

Tabela 40. Áreas totais, permeáveis e impermeáveis para os lotes, conforme cenário CAL1

Bacias	Total	Permeáveis		Impermeáveis	
		m²	%	m²	%
B1	3.174,21	952,26	30,00%	2.221,95	70,00%
B2	5.064,03	3.606,15	71,21%	1.457,88	28,79%
B3	3.548,33	1.185,17	33,40%	2.363,16	66,60%
B4	8.203,03	2.460,91	30,00%	5.742,12	70,00%

Tabela 41. Percentuais de área impermeável total e coeficiente CN para o cenário CAL1

Bacia	Area (m²)	Área imperm (%)	CN Médio Ponderado
B1	11.806,21	68,81	86
B2	6.207,51	41,91	77
B3	4.954,76	76,08	89
B4	16.541,73	77,46	90

Tabela 42. Áreas totais, permeáveis e impermeáveis para os lotes, conforme cenário CAL2

Bacias	Total	Permeáveis		Impermeáveis	
		m²	%	m²	%
B1	3.174,21	634,84	20,00%	2.539,37	80,00%
B2	5.064,03	3.606,15	71,21%	1.457,88	28,79%
B3	3.548,33	1.185,17	33,40%	2.363,16	66,60%
B4	8.203,03	1.640,61	20,00%	6.562,42	80,00%

Tabela 43. Percentuais de área impermeável total e coeficiente CN para o cenário CAL2

Bacia	Area (m²)	Área imperm (%)	CN Médio Ponderado
B1	11.806,21	71,50	87
B2	6.207,51	41,91	77
B3	4.954,76	76,08	89
B4	16.541,73	82,42	91

4.3.2 Cenários para escala do viário

Para a escala do viário foram adotados 2 cenários base, posteriormente 18 cenários derivados e por fim os cenários combinados aplicando as soluções mitigadoras no recorte viário localizado à Av. Jundiaí.

4.3.2.1 Cenário Base – CB e Cenário Base Árvores - CBA

Com a finalidade de padronizar as dimensões encontradas na situação atual e para atender as premissas geométricas do programa Ativa! foi proposta a criação do Cenário Base, CB bem como o cenário Base Árvore, CBA, que prevê a implantação de arborização viária. Nas definições destes cenários, além da utilização das premissas geométricas do Programa Ativa! foram consideradas as dimensões mínimas para os passeios e ciclovias recomendadas por Nacto (2016).

O cenário CBA – cenário base árvores apresenta as características geométricas do CB com implantação de arborização urbana com a finalidade de analisar a diferença final nos resultados de redução de VP e VA pois, mesmo com todos os benefícios da arborização, a área útil para implantação das soluções mitigadoras é diminuída devido à presença das árvores junto aos passeios.

Para a definição das áreas de implantação das árvores foi realizado o levantamento da área de ocupação destinada para esta finalidade prevista no Programa Ativa! sendo obtido a área total de 100m² com 50m² para cada lado do

passeio. Esta área de 100m² foi acrescida como área permeável dos passeios considerando largura de 1,00m para cada árvore a ser implantada.

A **Tabela 44** apresenta um resumo dos valores para a Bacia 04 e a **Tabela 45** apresenta o total em percentual da área impermeável da Bacia 04 após modificações do CB e CBA. As demais bacias não sofreram alteração e possuem parâmetros como na situação atual.

Tabela 44. Áreas e CN para cenários CB e CBA - Bacia 04

Bacia	Descrição		CB		CBA		Classific.
			Área	CN Solo B	Área	CN Solo B	
B4	Sistema Viário	Fx. Rolamento	4.540,31	98	4.540,31	98	Imperm.
		Passeio	***3.113,43***	***98***	***3.013,43***	***98***	***Imperm.***
		Jardins	***684,96***	***61***	***784,96***	***61***	***Perm.***
	Lotes	Construções	7.292,27	98	7.292,27	98	Imperm.
		Jardins	910,76	61	910,76	61	Perm.
	TOTAL		16.541,73	94	16.541,73	94	

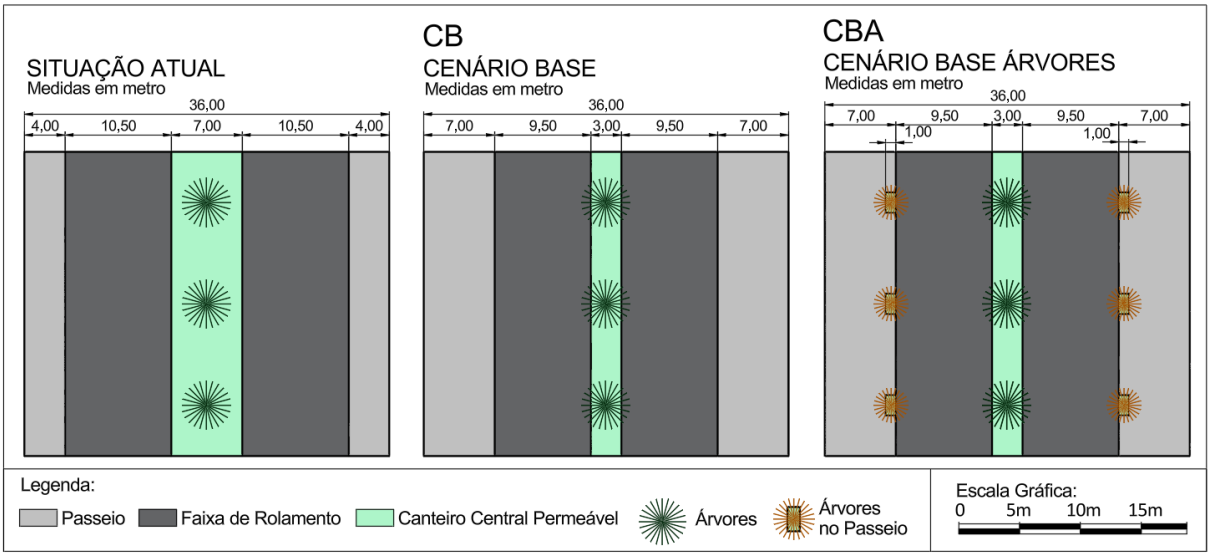
Tabela 45. Percentual de área impermeável da Bacia 04 para CB e CBA

Bacia Bacia	Área total (m²) Área total (m²)	Percentual da área impermeável (%)	
		CB	CBA
B4	16.541,73	90,35%	89,75%

A **Figura 30** apresenta uma imagem representativa da situação atual, Cenário Base (CB) e Cenário Base com Árvores (CBA), demonstrando as larguras das faixas de rolamento, passeio e canteiro central, bem como a área reservada para implantação das árvores junto aos passeios para o cenário CBA. Nestas imagens pode-se observar que a variação definida para os cenários base e cenários base com árvores respeitou a largura total da caixa viária (36,00m) bem como as árvores localizadas no canteiro central da avenida Jundiaí (trecho do recorte).

As faixas de rolamento foram modificadas de 10,50m (existente) para 9,50m (Programa Ativa) e a distribuição da utilização do espaço do passeio seguiu as recomendações mínimas do Guia Global Street Design Guide (Nacto, 2016). Por fim, o canteiro central teve sua dimensão alterada de 7,00m para 3,00m respeitando as árvores existentes bem como as dimensões propostas pelo programa Ativa!.

Figura 30. Características físicas da situação atual e cenários CB e CBA



4.3.2.2 Cenário Base com Pavimento Permeável – CBPP e Cenário Base Árvore com Pavimento Permeável - CBAPP

O cenário base com pavimento permeável (CBPP) bem como o cenário base árvore e pavimento permeável (CBAPP) considera aplicação de solução mitigadora em escala do viário. Nestes cenários será considerado a implantação de pavimento permeável em 100% dos passeios somente para o trecho do recorte (Av. Jundiaí – Bacia 04), sendo que os cenários CBPP consideram os passeios sem implantação de árvores, e os cenários CBAPP consideram os passeios com implantação de árvores.

Nestes cenários, CBPP e CBAPP, serão consideradas ainda 3 (três) variações na espessura de armazenamento da estrutura do pavimento (base de material granular), sendo 30cm, 60cm e 90cm, totalizando 6 cenários e 18 simulações.

A **Figura 31** apresenta a seção do pavimento permeável considerado nestes cenários onde observa-se as camadas presentes na estrutura considerada. O pavimento permeável como revestimento principal, a base de assentamento em areia média que possui como objetivo regularizar a camada de assentamento e a camada de base permeável de armazenamento realizada com material de granulometria aberta o que propicia o armazenamento dos volumes precipitados. Por fim o solo local / subleito de apoio da estrutura do pavimento permeável considerado (ABNT, 2015).

Figura 31. Seção transversal do pavimento permeável considerado nos cenários CBPP e CBAPP

A **Tabela 46** apresenta um resumo dos valores para a Bacia 04 (Bacia modificada no cenário CBPP e CBAPP). Como nestes cenários está sendo considerado a implantação de pavimento permeável em toda a área dos passeios do recorte, essa parcela de área torna-se área permeável e desta forma faz-se necessário o ajuste dos valores de CN ponderado bem como da área impermeável e permeável da bacia. As demais bacias não sofreram alteração.

Tabela 46. Informações alteradas da bacia B4 para o CBPP e CBAPP

Bacia	Descrição		CBPP		CBAPP		Classific.
			Área	CN Solo B	Área	CN Solo B	
B4	Sistema Viário	Fx. Rolamento	4.540,31	98	4.540,31	98	Imperm.
		Passeio	***3.113,43***	***61***	***3.013,43***	***61***	***Perm.***
		Jardins	684,96	61	784,96	61	Perm.
	Lotes	Construções	7.292,27	98	7.292,27	98	Imperm.
		Jardins	910,76	61	910,76	61	Perm.
	TOTAL		16.541,73	87	16.541,73	87	

A **Tabela 47** apresenta os valores de área impermeável e o coeficiente CN médio ponderado para a Bacia 04 para os cenários CBPP e CBAPP onde o total de área permeável se mantém pois ambos os cenários consideram implantação de pavimento permeável em 100% dos passeios. Para o CBAPP considera-se também a área destinada as árvores junto ao passeio e, por também ser considerada área permeável, o percentual total não se altera.

Tabela 47. Percentual de área impermeável da Bacia 04 para CBPP e CBAPP

Bacia	Área total (m²)	Percentual da área impermeável (%)	CN Médio Ponderado
B4	16.541,73	71,53%	87

Para realização das simulações faz-se necessário a definição dos parâmetros relativos à solução mitigadora implantada. Para pavimentos permeáveis são necessários os parâmetros relativos às camadas de superfície *(surface),* camada de pavimento *(pavement)* bem como os parâmetros relativos à camada de armazenamento *(storage).* Os parâmetros foram obtidos em publicações científicas, norma ABNT bem como no manual do software. A **Tabela 48** apresenta os parâmetros utilizados.

Tabela 48. Parâmetros de modelagem relativo à implantação de Pavimento Permeável

Camadas	Parâmetro	Valor considerado	Referência
Surface	*Berm Height (mm)*	30	Arjenaki et al., 2021
	Surface Roughness (manning – adm)	0,024	Canholi, 2015
	Surface Slope (%)	3	Declividade real do recorte
Pavement	*Thickness (mm)*	60	ABNT, 2015
	Void ratio (voids/solids)	0,15	ACI, 2010; Silva et al., 2019
	Permeability (mm/h)	3600	ABNT, 2015
Storage	*Thickness (mm)*	300, 600 e 900	Definição do autor
	Void ratio (voids/solids)	0,50	Silva et al., 2019
	Seepage rate (mm/h)	36	ABNT, 2015; Duarte Lopes; Barbosa Lima da Silva, 2021; Kaykhosravi; Khan; Jadidi, 2022

A **Figura 32** apresenta uma imagem representativa do Cenário Base com Pavimento Permeável (CBPP) e a **Figura 33** para o Cenário Base com Árvores e Pavimento Permeável (CBAPP), demonstrando as larguras das faixas de rolamento, passeio e canteiro central, bem como área para implantação do pavimento permeável e cenários derivados relativos as espessuras da camada de armazenamento (CBPP1, CBPP2, CBPP3, CBAPP4, CBAPP5 e CBAPP6).

Figura 32. Características físicas dos cenários CBPP1, CBPP2 e CBPP3

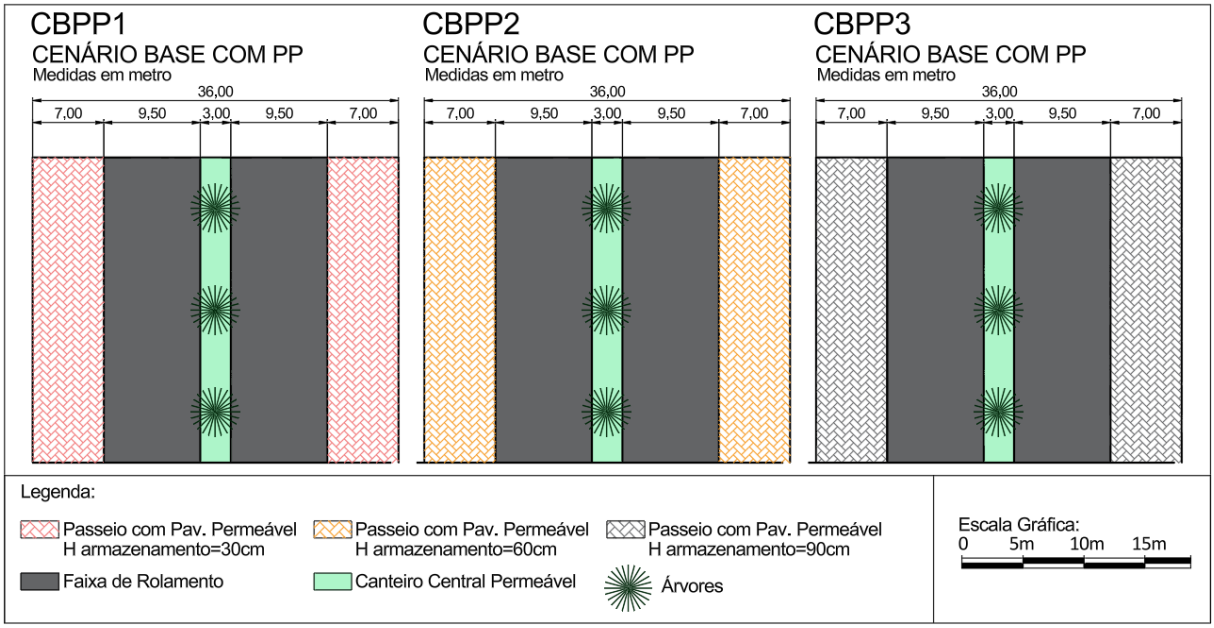
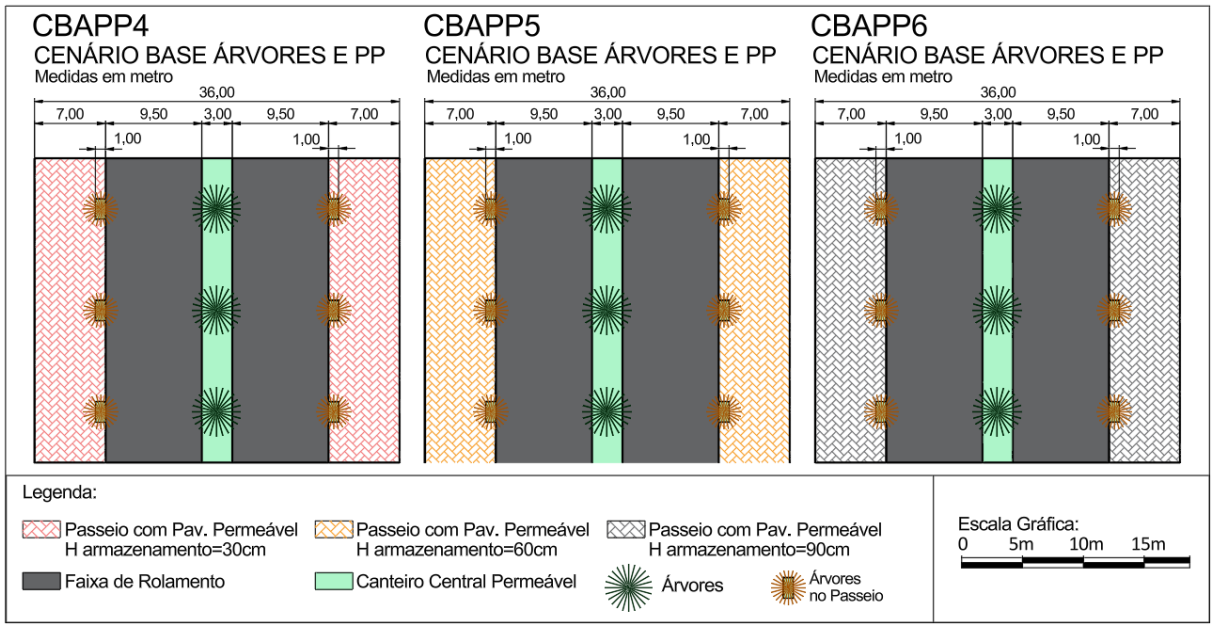


Figura 33. Características físicas dos cenários CBAPP4, CBAPP5 e CBAPP6



4.3.2.3 Cenário base com Jardim de Chuva – CBJC e Cenário base árvores com Jardim de Chuva – CBAJC

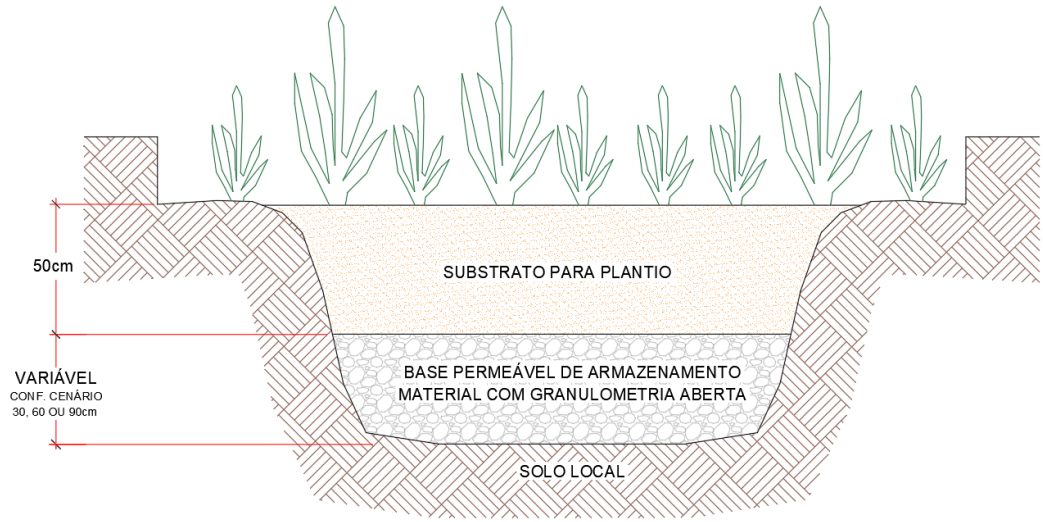
O cenário base com jardim de chuva (CBJC) bem como o cenário base árvores e jardim de chuva (CBAJC) considera aplicação de solução mitigadora em escala do viário. Nestes cenários será considerado a implantação de jardins de chuva em áreas disponíveis junto aos passeios bem como no canteiro central do trecho do recorte (Av.

Jundiaí – Bacia 04), sendo que os cenários CBJC consideram os passeios sem implantação de árvores, e os cenários CBAJC consideram os passeios com implantação de árvores.

Nestes cenários, CBJC e CBAJC, serão consideradas 2 (duas) variações de largura de ocupação dos passeios, sendo 1,00m e 2,80m, bem como 3 (três) variações na espessura de armazenamento da estrutura do jardim de chuva (base de material granular), sendo 30, 60 e 90cm totalizando 12 cenários e 36 simulações.

A **Figura 34** apresenta a seção do jardim de chuva considerado nestes cenários onde observa-se as camadas presentes na estrutura modelada. O jardim de chuva possui a área superior para armazenamento, o trecho imediatamente abaixo com substrato para plantio e a camada de base permeável de armazenamento realizada com material de granulometria aberta o que propicia o armazenamento dos volumes precipitados. Por fim a estrutura apresenta o solo local / subleito para apoio da estrutura do jardim de chuva considerado (Castagna; Ferraz, 2023).

Figura 34. Seção transversal do jardim de chuva considerado nos cenários CBJC e CBAJC



Para definição das áreas disponíveis para implantação dos jardins de chuva e consequentemente definir as áreas dos cenários CBJC e CBAJC foram consideradas as premissas indicadas:

Canteiro Central: Foi considerada uma faixa de 2,80m de largura para uma extensão total de 90,00m. Esta extensão foi definida considerando o espaço disponível entre as árvores existentes no local bem como demais interferências, com isso, obteve-se uma

área disponível de 252 m² no canteiro central para os jardins de chuva nos cenários CBJC e CBAJC.

Passeios: Foi considerada uma extensão média de 107,50m para cada um dos passeios após a retirada de regiões onde os jardins de chuva não poderiam ser implantados como baia de ônibus e entradas de garagens. Com relação as larguras foram consideradas duas possibilidades 1,00m (CBJC 1, 2 e 3) e 2,80m (CBJC 4, 5 e 6) gerando áreas disponíveis nos passeios de 215m² para CBJC 1, 2 e 3 e 602m² para CBJC 4, 5 e 6.

Nos cenários CBAJC foi considerado uma extensão média de 57,50m para implantação de JC em cada um dos passeios. Esta extensão foi definida também após a retirada das regiões onde os jardins de chuva não podem ser implantados. Com relação as larguras foram consideradas duas possibilidades 1,00m (CBAJC 7, 8 e 9) e 2,80m (CBAJC 10, 11 e 12) gerando áreas disponíveis nos passeios de 115m² para CBAJC 7, 8 e 9 e 322m² para CBAJC 10, 11 e 12.

As larguras disponíveis para os JCs chuva foram definidas analisando-se o espaço disponível em conjunto com as dimensões mínimas propostas no Global Street Design Guide que apresentada arranjos urbanos para elementos localizados nos passeios como faixa livre, ciclovia, zona de segurança, entre outros (Nacto, 2016).

A **Tabela 49** apresenta um resumo dos valores para a Bacia 04 (Bacia modificada) para os cenários CBJC 1, 2, 3, 4, 5 e 6 e a **Tabela 50** para os cenários CBAJC 7, 8, 9, 10, 11 e 12. Nestes cenários está sendo considerado a implantação de jardins de chuva nos passeios do recorte, com isso, essa parcela de área torna-se área permeável e faz-se necessário o ajuste dos valores de CN ponderado bem como da área impermeável e área permeável da bacia. As demais bacias não sofreram alteração.

Tabela 49. Informações alteradas na Bacia B4 para os cenários CBJC1, 2, 3, 4, 5 e 6

Bacia	**Descrição**		**CBJC 1, 2 e 3**		**CBJC 4, 5 e 6**		**Classific.**
			Área	CN Solo B	Área	CN Solo B	
B4	**Sistema Viário**	Fx. Rolamento	4.540,31	98	4.540,31	98	Imperm.
		Passeio	2.898,43	98	2.511,43	61	Perm.
		Jardins	432,96	61	432,96	61	Perm.
		Jardins de Chuva	***467,00***	***61***	***854,00***	***61***	***Perm.***
	Lotes	Construções	7.292,27	98	7.292,27	98	Imperm.
		Jardins	910,76	61	910,76	61	Perm.
	TOTAL		16.541,73	94	16.541,73	93	

Tabela 50. Informações alteradas na Bacia B4 para os cenários CBAJC 7, 8, 9, 10, 11 e 12

Bacia	Descrição		CBAJC 7, 8 e 9		CBAJC 10, 11 e 12		Classific.
			Área	CN Solo B	Área	CN Solo B	
B4	Sistema Viário	Fx. Rolamento	4.540,31	98	4.540,31	98	Imperm.
		Passeio	2.898,43	98	2.691,43	61	Perm.
		Jardins	532,96	61	532,96	61	Perm.
		Jardins de Chuva	***367,00***	***61***	***574,00***	***61***	***Perm.***
	Lotes	Construções	7.292,27	98	7.292,27	98	Imperm.
		Jardins	910,76	61	910,76	61	Perm.
	TOTAL		16.541,73	94	16.541,73	93	

A **Tabela 51** a **Tabela 54** apresenta os valores de percentual da área impermeável e CN na Bacia 04 após as modificações consideradas nos cenários CBJC e CBAJC

Tabela 51. Percentual de área impermeável da Bacia 04 para CBAJC1, 2 e 3

Bacia	Área total (m²)	Percentual da área impermeável (%)	CN Médio Ponderado
B4	16.541,73	89,05%	94

Tabela 52. Percentual de área impermeável da Bacia 04 para CBAJC4, 5 e 6

Bacia	Área total (m²)	Percentual da área impermeável (%)	CN Médio Ponderado
B4	16.541,73	86,71%	93

Tabela 53. Percentual de área impermeável da Bacia 04 para CBAJC7, 8 e 9

Bacia	Área total (m²)	Percentual da área impermeável (%)	CN Médio Ponderado
B4	16.541,73	89,05%	94

Tabela 54. Percentual de área impermeável da Bacia 04 para CBAJC10, 11 e 12

Bacia	Área total (m²)	Percentual da área impermeável (%)	CN Médio Ponderado
B4	16.541,73	87,80%	93

Para realização das modelagens no software PCSWMM faz-se necessário a definição dos parâmetros relativos à solução mitigadora implantada. Para jardins de chuva são necessários os parâmetros relativos às camadas de superfície *(surface),* camada de solo *(substrato)* bem como os parâmetros relativos à camada de armazenamento *(storage).* Os parâmetros foram obtidos em publicações científicas,

norma ABNT bem como no manual do software. A **Tabela 55** apresenta os parâmetros utilizados.

A **Figura 35** e **Figura 36** apresentam uma imagem representativa dos Cenários CBJC 1 a 3 e CBJC 4 a 6 demonstrando as características físicas bem como a representação da área disponível para implantação dos jardins de chuva com larguras de 1,00m e 2,80m. A **Figura 37** e **Figura 38** apresentam as imagens referentes aos cenários CBAJC 7 a 9 e CBA 10 a 12. Todos estes cenários consideram ainda 3 variações relativas as camadas de armazenamento (30, 60 e 90cm).

Tabela 55. Parâmetros de modelagem relativo à implantação de Jardim de Chuva

Camadas	Parâmetro	Valor considerado	Referência
Surface	Berm Height (mm)	300	Christo, 2021
	Vegetation Volume (fraction)	0,20	Christo, 2021
	Surface Roughness (manning – adm)	0,150	Canholi, 2015
	Surface Slope (%)	3	Declividade real do recorte
Soil	Thickness (mm)	500	Ferrans et al., 2023
	Porosity (volume fraction)	0,40	Ferrans et al., 2023
	Field capacity (volume fraction)	0,17	Ferrans et al., 2023
	Wilting point (volume fraction)	0,11	Ferrans et al., 2023
	Conductivity (mm/hr)	167,9	Ferrans et al., 2023
	Conductivity slope	21,09	Ferrans et al., 2023
	Suction head (mm)	37,31	Ferrans et al., 2023
Storage	Thickness (mm)	300, 600 e 900	Definição do autor
	Void ratio (voids/solids)	0,50	Silva et al., 2019
	Seepage rate (mm/h)	36	ABNT, 2015; Duarte Lopes; Barbosa Lima da Silva, 2021; Kaykhosravi; Khan; Jadidi, 2022

Figura 35. Características físicas dos cenários CBJC1, CBJC2 e CBJC3

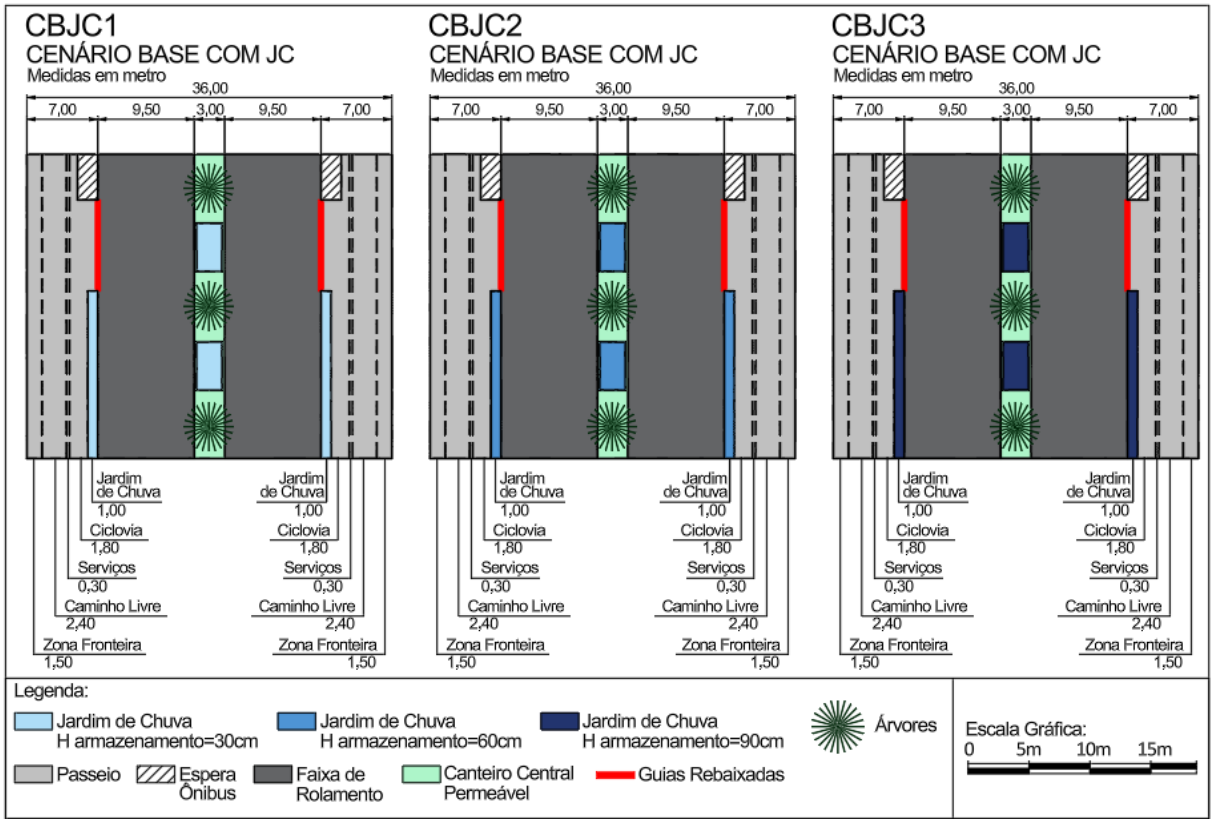


Figura 36. Características físicas dos cenários CBJC4, CBJC5 e CBJC6

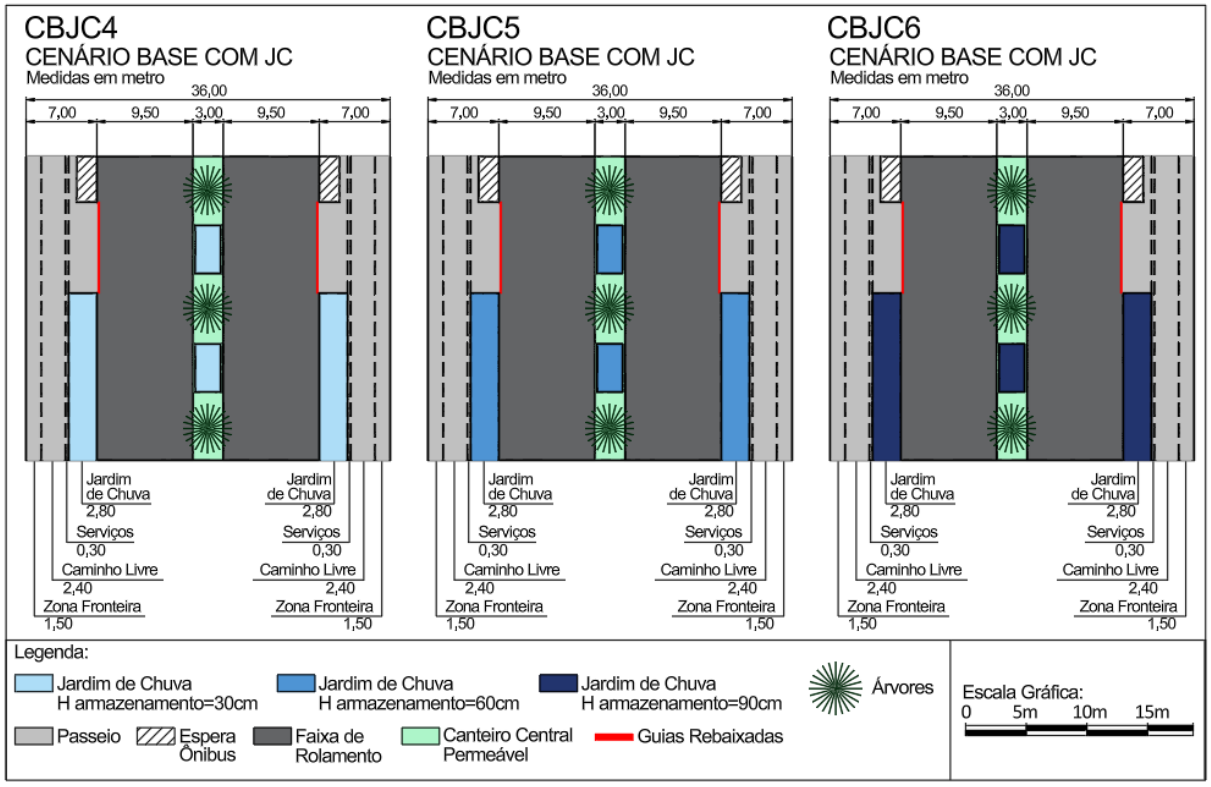


Figura 37. Características físicas dos cenários CBAJC7, CBAJC8 E CBAJC9

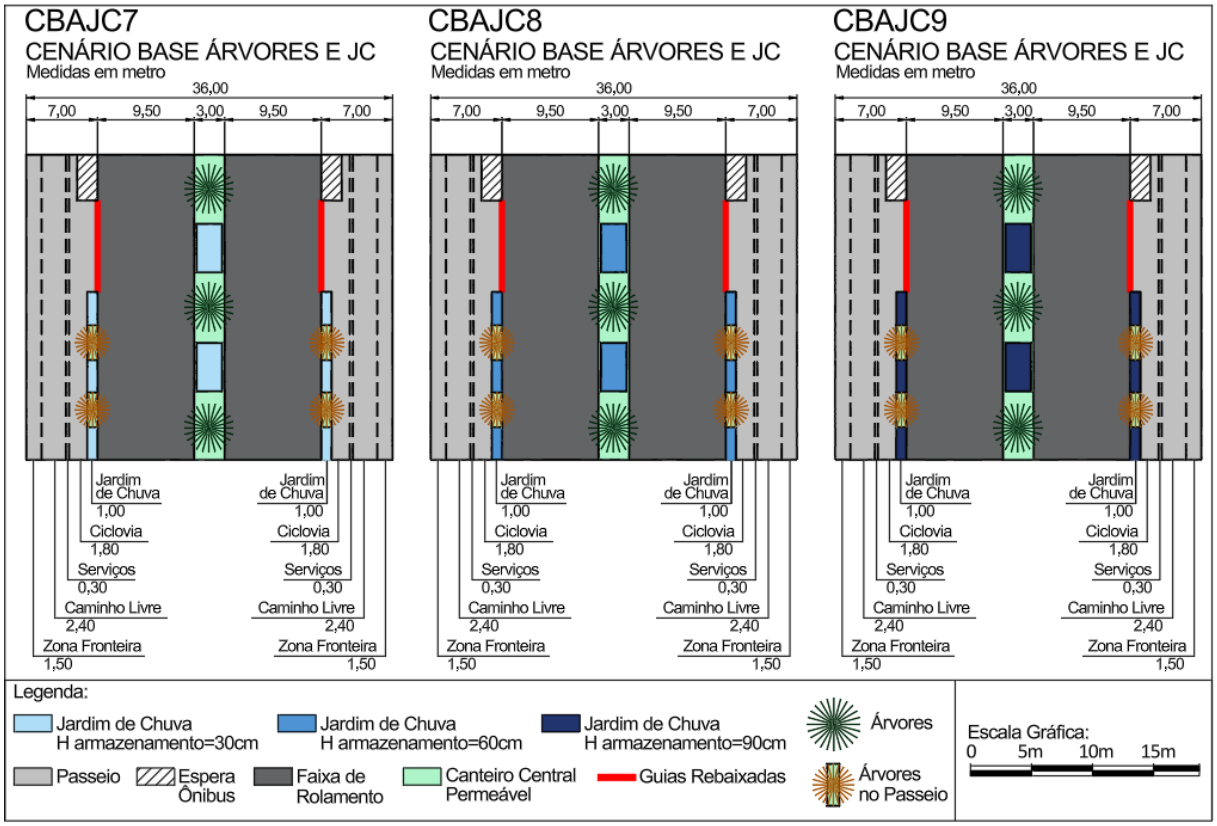
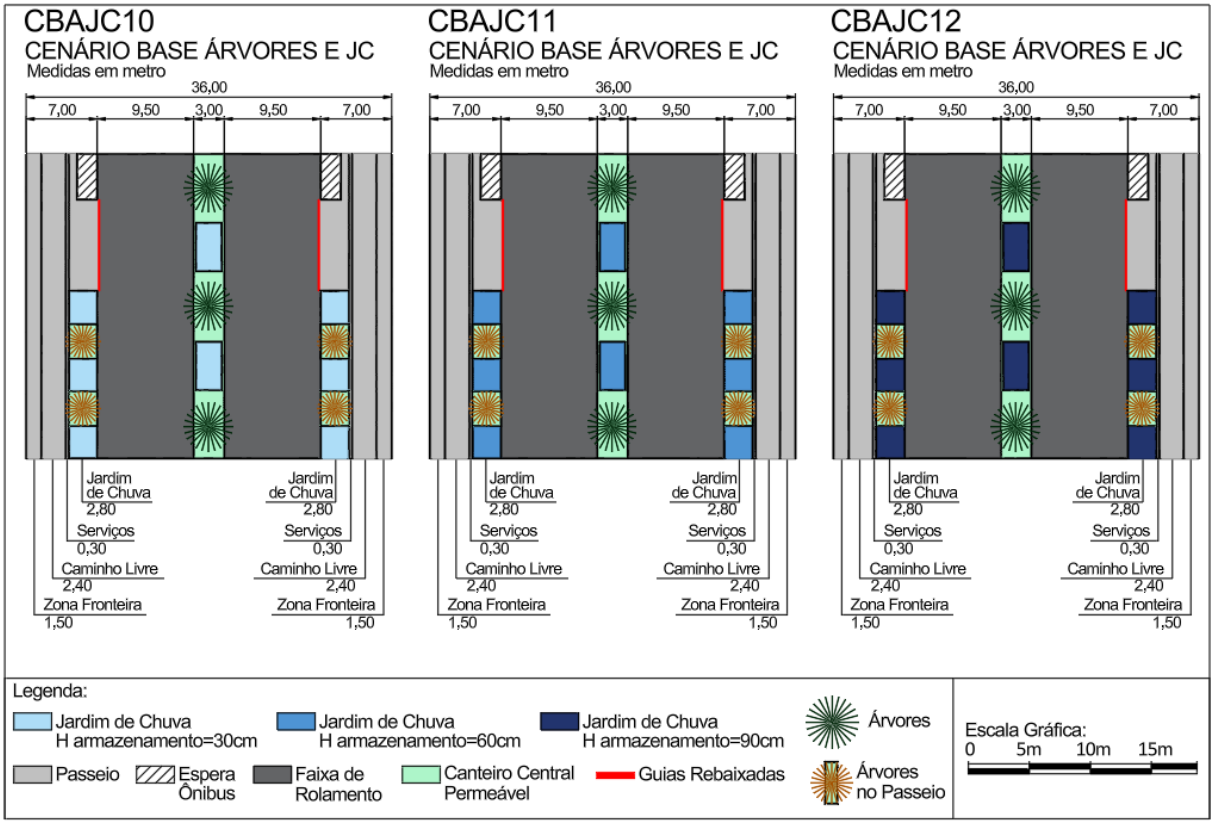


Figura 38. Características físicas dos cenários CBJAC10, CBAJC11 e CBAJC12



4.3.3 Cenários Combinados – CC

Com intuito de compreender a eficiência no agrupamento de soluções mitigadoras, foram definidos 12 cenários combinados que consideram todos os cenários com propostas de mitigação nos lotes (CAL1 e 2), os cenários com soluções no viário com pavimento permeável (CBPP e CBAPP) e com jardim de chuva (CBJC e CBAJC). Visando a diminuição de variáveis combinatórias, para os cenários na escala do viário utilizado nas combinações, tanto para pavimento permeável quanto para jardim de chuva, foi considerado unicamente a profundidade de armazenamento de 60cm por ser a média das espessuras simuladas nos cenários individualmente. Foram propostos 12 cenários com 36 simulações. O **Quadro 4** apresenta as características dos cenários combinados.

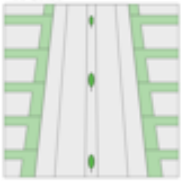
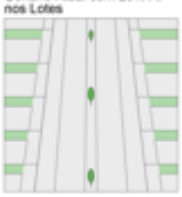
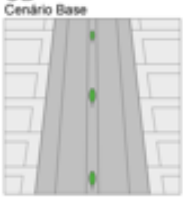
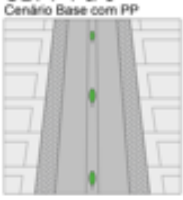
Quadro 4. Características dos cenários combinados CC1 a CC12

Cenário Combi-nado	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Observações
CC1	CBPP2	CBJC2	-	PP em 100% dos passeios + JC com 1,00m de largura. Prof. Armaz.: 60cm
CC2	CBPP2	CBJC5	-	PP em 100% dos passeios + JC com 2,80m de largura. Prof. Armaz.: 60cm
CC3	CBAPP5	CBAJC8	-	PP em 100% dos passeios + JC com 1,00m de largura. Prof. Armaz.: 60cm (com árvores)
CC4	CBAPP5	CBAJC11	-	PP em 100% dos passeios + JC com 2,80m de largura. Prof. Armaz.: 60cm (com árvores)
CC5	CBPP2	CBJC2	CAL1	CC1 + 30% área permeável mínima nos lotes.
CC6	CBPP2	CBJC5	CAL1	CC2 + 30% área permeável mínima nos lotes.
CC7	CBAPP5	CBAJC8	CAL1	CC3 + 30% área permeável mínima nos lotes.
CC8	CBAPP5	CBAJC11	CAL1	CC4 + 30% área permeável mínima nos lotes.
CC9	CBPP2	CBJC2	CAL2	CC1 + 20% área permeável mínima nos lotes.
CC10	CBPP2	CBJC5	CAL2	CC2 + 20% área permeável mínima nos lotes.
CC11	CBAPP5	CBAJC8	CAL2	CC3 + 20% área permeável mínima nos lotes.
CC12	CBAPP5	CBAJC11	CAL2	CC4 + 20% área permeável mínima nos lotes.

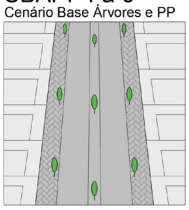
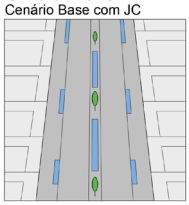
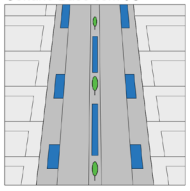
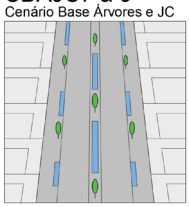
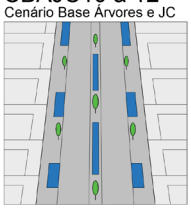
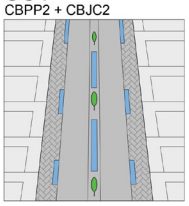
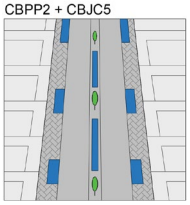
4.3.4 Resumo geral dos cenários

O **Quadro 5** apresenta um resumo geral de todos os cenários com identificação em ícones para facilitar a compreensão e visualização.

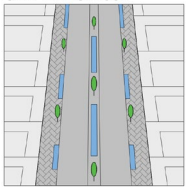
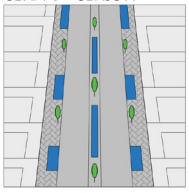
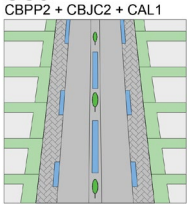
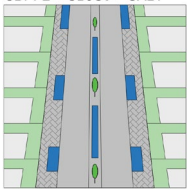
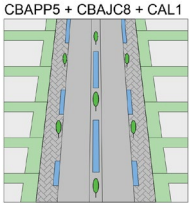
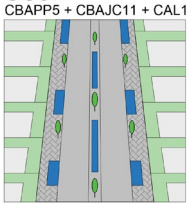
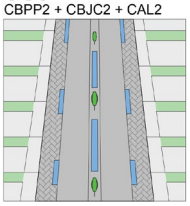
Quadro 5. Resumo dos cenários simulados

Cenário	Objetivo	Variações	Simulações
SITUAÇÃO ATUAL	Avaliar VP e VA para situação atual do recorte	Simulações para Solo tipo A, B e C, durações de chuva de 10, 60 e 120 e período de retorno de 2, 5, 10 e 25 anos	36
CAL1 Cenário Atual com 30% AP nos Lotes 	Escala de Lote: Avaliar VP e VA com alterações nas áreas permeáveis dos lotes fixando no mínimo 30%. Alterações em todas as bacias sem alterações no viário	Simulações para Solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CAL2 Cenário Atual com 20% AP nos Lotes 	Escala de Lote: Avaliar VP e VA com alterações nas áreas permeáveis dos lotes fixando no mínimo 20%. Alterações em todas as bacias sem alterações no viário	Simulações para Solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CB Cenário Base 	Escala do Viário: Avaliar VP e VA com alterações no sistema viário do recorte conforme premissas geométricas do programa Ativa!	Simulações para Solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CBA Cenário Base com Árvores	Escala do Viário: Avaliar VP e VA com alterações no sistema viário do recorte conforme premissas geométricas do programa Ativa! e com arborização no passeio	Simulações para Solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CBPP1 a 3 Cenário Base com PP 	Escala do Viário: Avaliar VP e VA com implantação de pavimento permeável em 100% dos passeios do trecho de recorte utilizando CB como referência	Simulações para 3 profundidades diferentes da camada de armazenamento (30, 60 e 90cm) e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	9

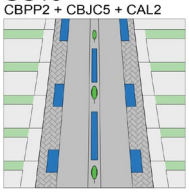
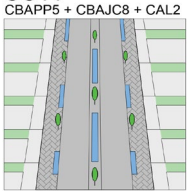
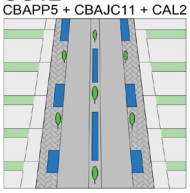
Quadro 5. Resumo dos cenários simulados (continuação)

Cenário	Objetivo	Variações	Simulações
CBAPP4 a 6 Cenário Base Árvores e PP 	Escala do Viário: Avaliar VP e VA com implantação de pavimento permeável em 100% dos passeios do trecho de recorte utilizando CBA como referência	Simulações para 3 profundidades diferentes da camada de armazenamento (30, 60 e 90cm) e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	9
CBJC1 a 3 Cenário Base com JC 	Escala do Viário: Avaliar VP e VA com implantação de jardim de chuva com largura de 1,00m nos passeios do trecho de recorte utilizando CB como referência	Simulações para 3 profundidades diferentes da camada de armazenamento (30, 60 e 90cm) e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	9
CBJC4 a 6 Cenário Base com JC 	Escala do Viário: Avaliar VP e VA com implantação de jardim de chuva com largura de 2,80m nos passeios do trecho de recorte utilizando CB como referência	Simulações para 3 profundidades diferentes da camada de armazenamento (30, 60 e 90cm) e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	9
CBAJC7 a 9 Cenário Base Árvores e JC 	Escala do Viário: Avaliar VP e VA com implantação de jardim de chuva com largura de 1,00m nos passeios do trecho de recorte utilizando CBA como referência	Simulações para 3 profundidades diferentes da camada de armazenamento (30, 60 e 90cm) e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	9
CBAJC10 a 12 Cenário Base Árvores e JC 	Escala do Viário: Avaliar VP e VA com implantação de jardim de chuva com largura de 2,80m nos passeios do trecho de recorte utilizando CBA como referência	Simulações para 3 profundidades diferentes da camada de armazenamento (30, 60 e 90cm) e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	9
CC1 CBPP2 + CBJC2 	Escala do Viário: Avaliar VP e VA com implantação de pavimento permeável em 100% dos passeios e jardins de chuva com largura de 1,00m nos passeios do trecho de recorte utilizando CB como referência	Simulações para profundidade de 60cm e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CC2 CBPP2 + CBJC5 	Escala do Viário: Avaliar VP e VA com implantação de pavimento permeável em 100% dos passeios e jardins de chuva com largura de 2,80m nos passeios do trecho de recorte utilizando CB como referência	Simulações para profundidade de 60cm e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3

Quadro 5. Resumo dos cenários simulados (continuação)

Cenário	Objetivo	Variações	Simulações
CC3 CBAPP5 + CBAJC8 	Escala do Viário: Avaliar VP e VA com implantação de pavimento permeável em 100% dos passeios e jardins de chuva com largura de 1,00m nos passeios do trecho de recorte utilizando CBA como referência	Simulações para profundidade de 60cm e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CC4 CBAPP5 + CBAJC11 	Escala do Viário: Avaliar VP e VA com implantação de pavimento permeável em 100% dos passeios e jardins de chuva com largura de 2,80m nos passeios do trecho de recorte utilizando CBA como referência	Simulações para profundidade de 60cm e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CC5 CBPP2 + CBJC2 + CAL1 	Escala do Lote + Viário: Avaliar VP e VA com pav. permeável em 100% dos passeios, jardins de chuva com largura de 1,00m nos passeios e 30% mínimo de área perm. nos lotes utilizando CB como referência	Simulações para profundidade de 60cm e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CC6 CBPP2 + CBJC5 + CAL1 	Escala do Lote + Viário: Avaliar VP e VA com pav. permeável em 100% dos passeios, jardins de chuva com largura de 2,80m nos passeios e 30% mínimo de área perm. nos lotes utilizando CB como referência	Simulações para profundidade de 60cm e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CC7 CBAPP5 + CBAJC8 + CAL1 	Escala do Lote + Viário: Avaliar VP e VA com pav. permeável em 100% dos passeios, jardins de chuva com largura de 1,00m nos passeios e 30% mínimo de área perm. nos lotes utilizando CBA como referência	Simulações para profundidade de 60cm e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CC8 CBAPP5 + CBAJC11 + CAL1 	Escala do Lote + Viário: Avaliar VP e VA com pav. permeável em 100% dos passeios, jardins de chuva com largura de 2,80m nos passeios e 30% mínimo de área perm. nos lotes utilizando CBA como referência	Simulações para profundidade de 60cm e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CC9 CBPP2 + CBJC2 + CAL2 	Escala do Lote + Viário: Avaliar VP e VA com pav. permeável em 100% dos passeios, jardins de chuva com largura de 1,00m nos passeios e 20% mínimo de área perm. nos lotes utilizando CB como referência	Simulações para profundidade de 60cm e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3

Quadro 5. Resumo dos cenários simulados (continuação)

Cenário	Objetivo	Variações	Simulações
CC10 CBPP2 + CBJC5 + CAL2 	Escala do Lote + Viário: Avaliar VP e VA com pav. permeável em 100% dos passeios, jardins de chuva com largura de 2,80m nos passeios e 20% mínimo de área perm. nos lotes utilizando CB como referência	Simulações para profundidade de 60cm e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CC11 CBAPP5 + CBAJC8 + CAL2 	Escala do Lote + Viário: Avaliar VP e VA com pav. permeável em 100% dos passeios, jardins de chuva com largura de 1,00m nos passeios e 20% mínimo de área perm. nos lotes utilizando CBA como referência	Simulações para profundidade de 60cm e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3
CC12 CBAPP5 + CBAJC11 + CAL2 	Escala do Lote + Viário: Avaliar VP e VA com pav. permeável em 100% dos passeios, jardins de chuva com largura de 2,80m nos passeios e 20% mínimo de área perm. nos lotes utilizando CBA como referência	Simulações para profundidade de 60cm e considerando solo tipo B, duração de chuva de 60 minutos e períodos de retorno de 2, 10 e 25 anos	3

4.4 Análise da eficiência hidráulica dos cenários

Com a definição final dos cenários e simulações computacionais realizadas, os resultados serão avaliados com foco em 4 (quatro) objetivos principais, compreender como a variação de parâmetros relativos ao solo / infiltração e parâmetros hidrológicos pode alterar os resultados (já apresentadas anteriormente), analisar a eficiência das soluções aplicadas na escala do lote, analisar a eficiência das soluções aplicadas na escala do viário e analisar a eficiência de soluções combinadas. Com a realização destas análises serão apresentados os rankings de eficiência 01 e 02 para os cenários simulados.

A **Figura 39** apresenta de forma gráfica a sequência das análises realizadas.

Figura 39. Análises realizadas

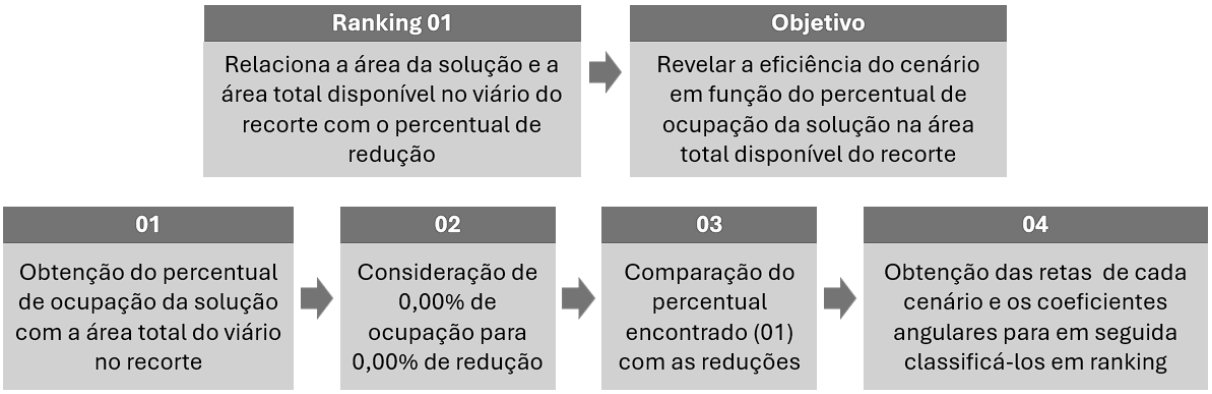
Para os cenários com escala de lote (CAL1 e CAL2), além da análise direta do percentual de redução de VP e VA será realizada a análise comparativa entre o percentual da área permeável no lote com relação a área total disponível e o percentual de redução encontrado, obtendo-se assim equações de regressão linear para os tempos de retorno simulados.

Nos cenários em escala do viário (CBPP, CBAPP, CBJC e CBAJC), bem como cenários combinados (CC1 a CC12) serão avaliadas as reduções diretas de VP e VA.

Após realização das análises diretas de redução para todos os cenários será realizado o ranking 01, que considera a eficiência das soluções relacionando a área da solução mitigadora com a área total disponível no viário (recorte) com o percentual total de redução. Essa comparação visa revelar a eficiência do cenário em função do percentual de ocupação da solução junto a área disponível do recorte. Será considerado que para 0,00% de área, temos 0,00% de redução e com isso serão traçadas retas para cada cenário. O coeficiente angular desta reta será a eficiência do cenário sendo posteriormente classificados em ranking.

A **Figura 40** apresenta um resumo da metodologia descrita para realização do ranking de eficiência 01

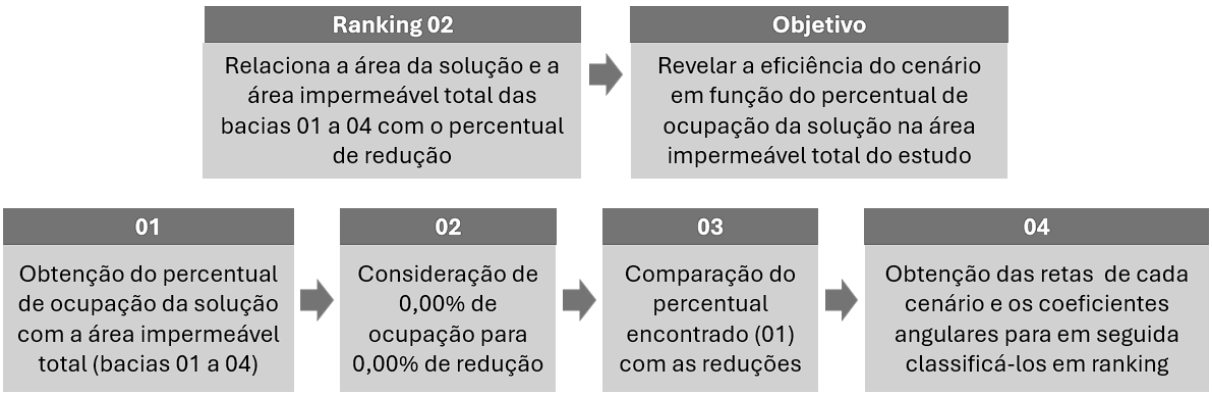
Figura 40. Resumo da metodologia para o ranking 01



Por fim será realizado o ranking 02, que considera a eficiência das soluções relacionando a área da solução mitigadora com a área impermeável total da bacia (bacias 1 a 4) e com o percentual total de redução. Essa comparação visa revelar a eficiência do cenário em função do percentual de ocupação da solução junto a área impermeável total do estudo. Será considerado que para 0,00% de área, temos 0,00% de redução e com isso serão traçadas retas para cada cenário. O coeficiente angular desta reta será a eficiência do cenário sendo posteriormente classificados em ranking.

A **Figura 41** apresenta um resumo da metodologia descrita para realização do ranking de eficiência 02.

Figura 41. Resumo da metodologia para o Ranking 02



5. RESULTADOS OBTIDOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo apresentará os resultados obtidos na pesquisa bem como suas análises e discussões. Todos os cenários foram analisados de forma individual ou em conjunto a depender do tipo de resultado e características do cenário. Inicialmente são apresentados os resultados obtidos nas simulações sendo que cada simulação retorna um resultado de VP (vazão de pico) em m³/s e VA (volume acumulado) em m³. Este resultado para cada simulação é comparado ao cenário utilizado como parâmetro inicial de entrada e assim pode-se obter as reduções de VP em VA sendo expressas em %.

5.1 Análise dos cenários com escala de lote - CAL1 e CAL2

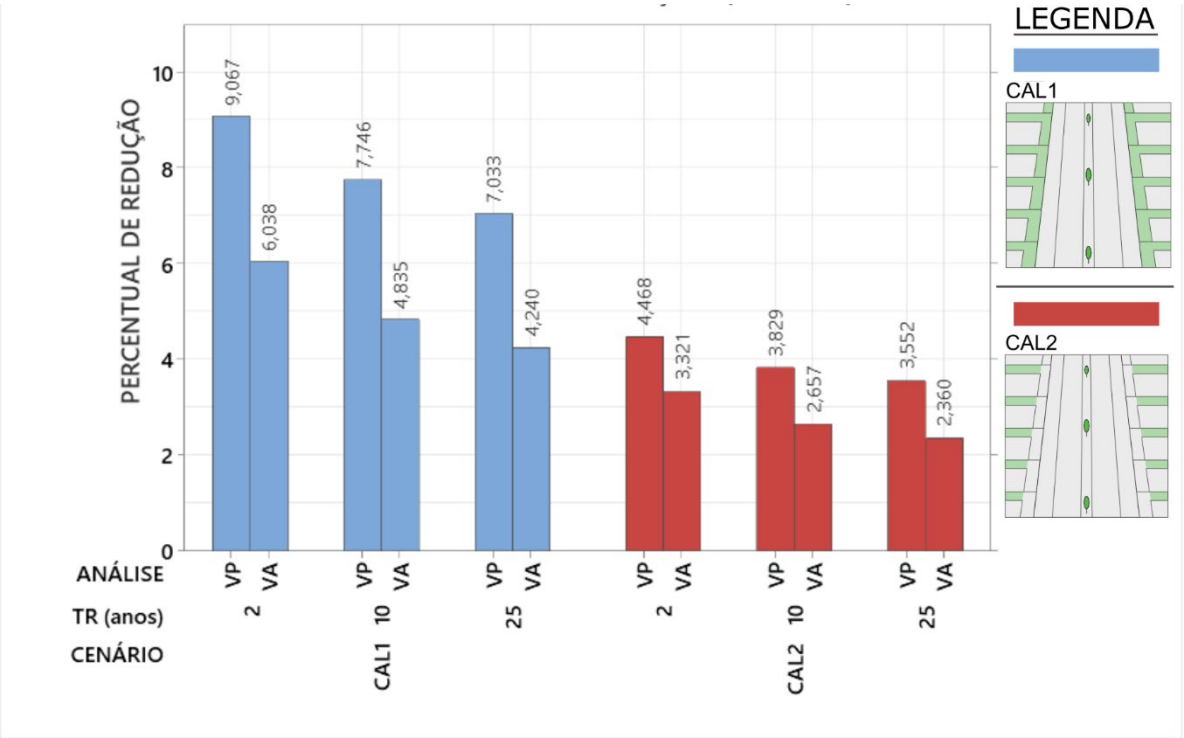
Conforme apresentado na metodologia, os cenários para escala de lote denominados CAL1 e CAL2 aplicam uma solução mitigadora na escala de lote onde os valores mínimos das áreas permeáveis foram fixados em 30% e 20% respectivamente em todas as bacias contribuintes não propondo nenhuma alteração na escala do viário, por este motivo o percentual de redução encontrado foi calculado em comparação a situação atual.

A **Tabela 56** apresentam os resultados encontrados de VP e VA após a simulação dos cenários, bem como o percentual de redução final em comparação a situação atual. A **Figura 42** apresenta as reduções obtidas em comparação a situação atual, agrupadas conforme o cenário e tempo de retorno.

Tabela 56. Resultados de VP e VA para cenários CAL1 e CAL2

Cenário	Tempo de Retorno (anos)	VP (m³/s)	VA (m³)	Redução VP (%)	Redução VA (%)	Cenário de Comparação
CAL1	2	0,692	1245	9,067	6,038	Situação Atual
CAL1	10	1,060	1791	7,746	4,835	Situação Atual
CAL1	25	1,335	2191	7,033	4,240	Situação Atual
CAL2	2	0,727	1281	4,468	3,321	Situação Atual
CAL2	10	1,105	1832	3,829	2,657	Situação Atual
CAL2	25	1,385	2234	3,552	2,360	Situação Atual

Figura 42. Reduções de VP e VA obtidas para cenários CAL1 e CAL2



Em análise a **Tabela 56** e **Figura 42** nota-se que os cenários apresentaram reduções de VP variando entre 3,552% e 4,468% para cenário CAL1 e entre 7,033% e 9,067% para cenário CAL2, bem como reduções de VA variando entre 2,360% 3,321% para cenário CAL1 e entre 4,240% e 6,038% para cenário CAL2, a depender do TR avaliado. Para ambos os cenários as reduções atingiram melhores resultados para TR 2 anos, passando por um valor intermediário para TR 10 anos e menores resultados para TR 25 anos. Tal variação em função do TR é compreensível pois as áreas disponíveis para implantação das áreas verdes são similares para todos os tempos de retorno e a precipitação aumenta, consequentemente os resultados de redução são menores para maiores TRs.

O estudo destes cenários demonstrou que o aumento de 50% da área permeável mínima nos lotes (de 20% para 30% entre cenários), resultou aumentos bem expressivos no percentual de redução sendo de 102,93% para VP e 81,81% para VA com TR 2 anos, 102,30% para VP e 81,97% para VA com TR 10 anos e 98,0% para VP e 79,66% com TR 25 anos.

De posse destes resultados pode-se agrupar os resultados para diferentes TRs em função do percentual de área permeável e assim obter regressões que permitam estimativas futuras de resultados.

5.2 Análise da eficiência linear total por TR para cenários CAL1 e CAL2

Foi realizada a comparação entre a área total permeável dos lotes com a área total disponível dos lotes obtendo-se dessa forma o percentual de ocupação das áreas permeáveis. De posse deste percentual total, agrupou-se os resultados com os percentuais de redução de VP e VA. A **Tabela 57** apresenta os valores de ocupação total das áreas permeáveis e percentual de redução de VP e VA para cada cenário e TRs correspondentes.

Tabela 57. Ocupação total das áreas permeáveis e reduções VP e VA dos cenários CAL1 e CAL2

Cenário	Tempo de Retorno (anos)	Area Permeável total (lotes)	Area Total (lotes)	% total Area Verde (%)	Redução VP (%)	Redução VA (%)
CAL1	2	8.204,49	19.989,60	41,04	9,07	6,04
CAL1	10	8.204,49	19.989,60	41,04	7,75	4,84
CAL1	25	8.204,49	19.989,60	41,04	7,03	4,24
CAL2	2	7.066,77	19.989,60	35,35	4,47	3,32
CAL2	10	7.066,77	19.989,60	35,35	3,83	2,66
CAL2	25	7.066,77	19.989,60	35,35	3,55	2,36

Considerando-se o agrupamento para diferentes TRs foram obtidas as regressões lineares para cada agrupamento. A **Tabela 58** apresenta as equações para regressão linear considerando VP como variável dependente e a

Tabela 59 considerando a redução de VA como variável dependente.

Tabela 58. Resultado das análises de regressão linear realizada para VP

Tempo de Retorno (anos)	Tipo de Regressão	Equação de Regressão	R^2
2	Linear	VP = - 24,11 + 0,8084 %totalAP	100,00%
10	Linear	VP = - 20,52 + 0,6889 %totalAP	100,00%
25	Linear	VP = - 18,07 + 0,6116 %totalAP	100,00%

Tabela 59. Resultado das análises de regressão linear realizada para VA

Tempo de Retorno (anos)	Tipo de Regressão	Equação de Regressão	R^2
2	Linear	VA = - 13,58 + 0,4780 %totalAP	100,00%
10	Linear	VA = - 10,88 + 0,3831 %totalAP	100,00%
25	Linear	VA = - 9,320 + 0,3304 %totalAP	100,00%

Com a determinação das equações de regressão lineares para cada tempo de retorno é possível a obtenção de resultados estimados para a redução de VP e VA considerando-se valores do percentual total de áreas permeável nos lotes (%totalAP), obviamente esta consideração é válida para estimativas que possuem parâmetros e características similares aos apresentados nesta pesquisa.

É importante reforçar a informação que, para realização de estimativas como a descrita, faz-se necessário a criação de novas equações adaptadas para os resultados do local de estudo com inputs corretos de entrada e demais características.

5.3 Análise dos cenários escala do viário - CBPP 1, 2, 3 e CBAPP 4, 5 e 6

Os cenários CBPP 1, 2 e 3 tiveram suas eficiências verificadas sobre o CB, já os cenários CBAPP 4, 5 e 6 sobre o CBA. Estas soluções foram aplicadas no sistema viário do recorte não havendo intervenção nas demais bacias e vias integrantes do trecho de contribuição.

A **Tabela 60** apresenta os resultados encontrados de VP e VA bem como o percentual de redução final em comparação ao CB para CBPP 1, 2 e 3 e CBA para CBAPP 4, 5 e 6. A **Figura 43** apresenta as reduções de VP e VA obtidas para CBPP1, 2 e 3 e a **Figura 44** para CBAPP4, 5 e 6.

Tabela 60. Reduções de VP e VA para cenários CBPP 1 a 3 e CBAPP 4 a 6

Cenário	Tempo de Retorno (anos)	VP (m^3/s)	VA (m^3)	Redução VP (%)	Redução VA (%)	Cenário de Comparação
CBPP1	2	0,597	653	23,166	51,188	CB
CBPP1	10	1,032	1192	11,492	37,131	CB
CBPP1	25	1,321	1589	8,959	30,973	CB
CBPP2	2	0,371	342	52,252	74,439	CB
CBPP2	10	0,854	881	26,758	53,534	CB
CBPP2	25	1,231	1277	15,162	44,526	CB
CBPP3	2	0,063	30	91,892	97,758	CB
CBPP3	10	0,588	570	49,571	69,937	CB
CBPP3	25	0,976	966	32,736	58,036	CB
CBAPP4	2	0,598	671	22,839	49,775	CBA
CBAPP4	10	1,031	1210	11,426	36,148	CBA
CBAPP4	25	1,319	1606	9,034	30,204	CBA
CBAPP5	2	0,389	369	49,806	72,380	CBA
CBAPP5	10	0,868	909	25,430	52,032	CBA
CBAPP5	25	1,231	1305	15,103	43,286	CBA
CBAPP6	2	0,118	68	84,774	94,910	CBA
CBAPP6	10	0,617	607	46,993	67,968	CBA
CBAPP6	25	1,006	1004	30,621	56,367	CBA

Figura 43. Reduções de VP e VA obtidas para cenários CBPP1, CBPP2 e CBPP3

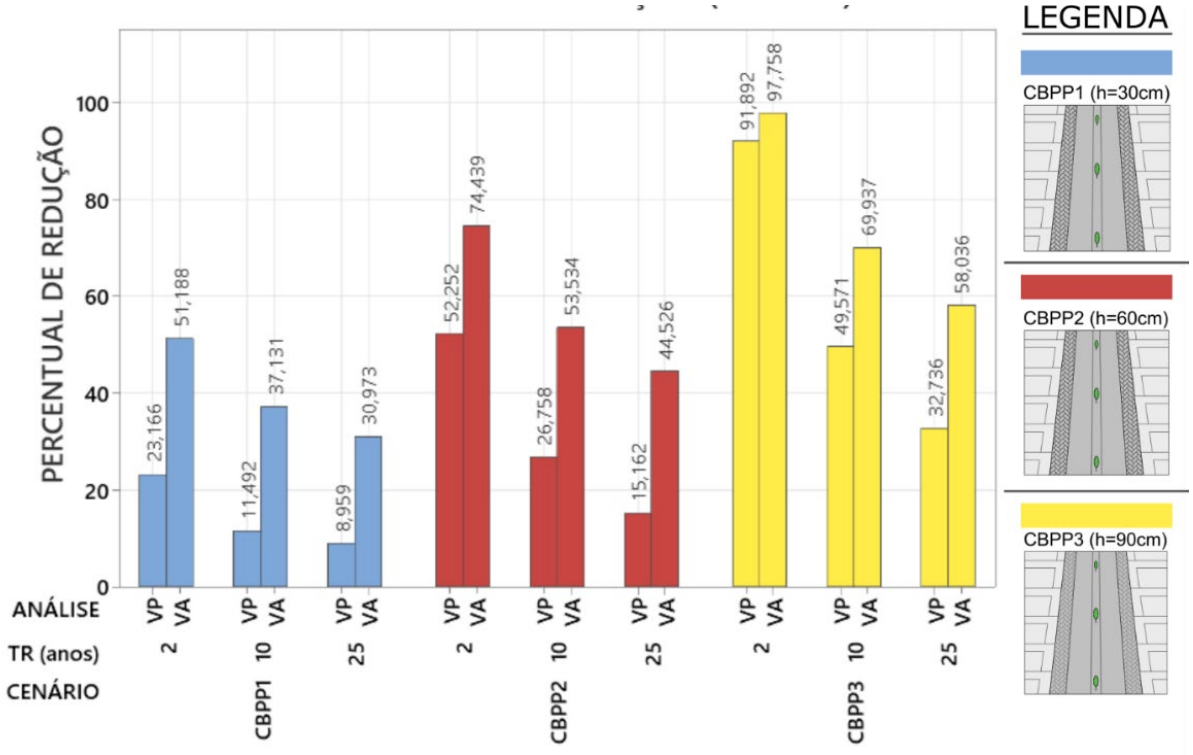
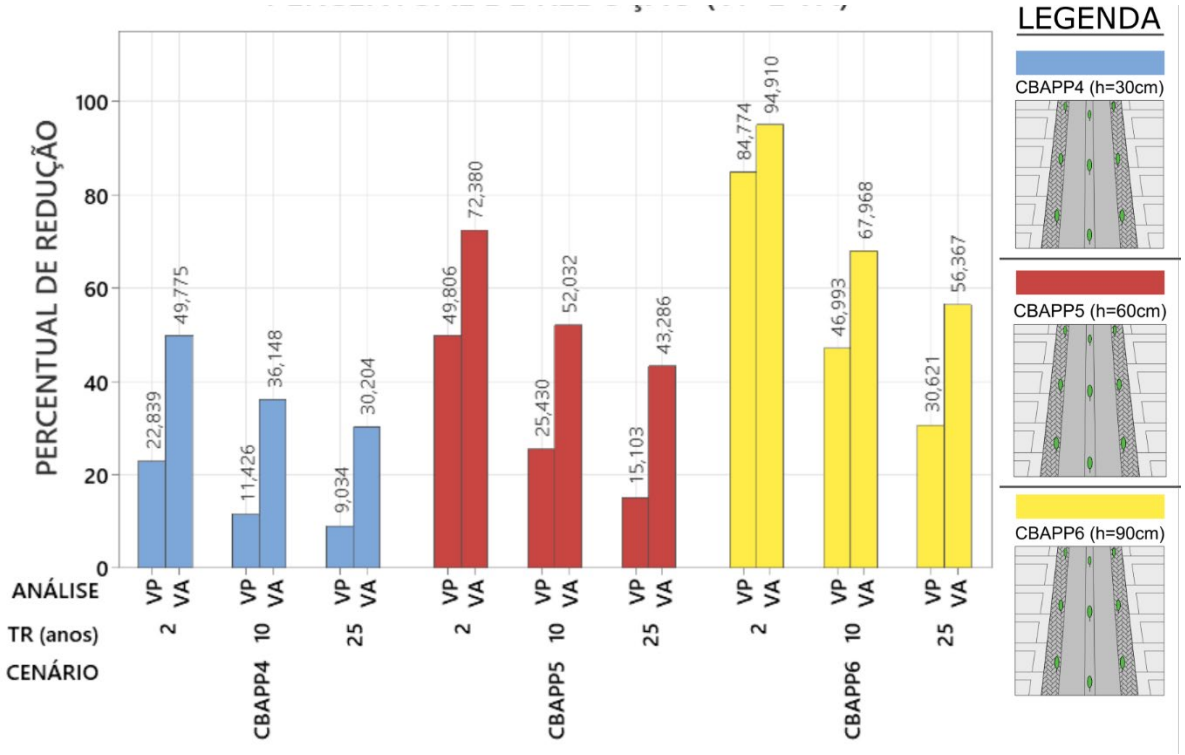


Figura 44. Reduções de VP e VA obtidas para cenários CBAPP4, CBAPP5 e CBAPP6



Em análise a **Tabela 60** nota-se que os cenários CBPP apresentaram reduções de VP variando entre 8,959% e 23,166% para o CBPP1, entre 15,162% e 52,252% para o CBPP2 e entre 91,892% e 32,736% para o cenário CBPP3. Já para VA os

resultados de redução variaram entre 30,973% e 51,188% para CBPP1, entre 44,526% e 74,439% para CBPP2 e 58,036% e 97,758% sendo as variações em função dos TRs considerados.

Os cenários CBAPP apresentaram reduções ligeiramente menor sendo para VP reduções variando entre 9,034% e 22,839% para o CBAPP4, entre 15,103% e 49,806% para o cenário CBAPP5 e entre 30,621% e 84,774% para o cenário CBAPP6. Para VA os resultados de redução variaram entre 30,204% e 49,775% para CBAPP4, entre 43,286% e 72,380% para CBAPP5 e entre 56,367% e 94,910% para o cenário CBAPP6.

Estes resultados demonstraram a importância da previsão de estruturas de armazenamento sob a estrutura do pavimento permeável. Os cenários com melhor resultado de eficiência foram os cenários CBPP3 e CBAPP6 justamente por possuírem uma profunda estrutura de armazenamento (90cm). Estes cenários apresentaram resultados de redução de VP até 4 vezes maior e de VA cerca de 2 vezes maior quando considerado a comparação entre os cenários CBPP3 e CBAPP6 com os cenários CBPP1 e CBAPP4 possuem armazenamento de somente 30cm.

Para os cenários CBAPP em comparação aos cenários CBPP, temos uma diminuição de eficiência, isso ocorre devido a diminuição da área total para implantação dos pavimentos permeáveis. Essa compreensão é importante para demonstrar que estudos de arborização precisam ser elaborados de forma multidisciplinar juntamente com estudos hidráulicos pois, apesar da arborização trazer diversos benefícios do ponto de vista climático e qualidade da paisagem, podem diminuir a capacidade de armazenamento de volumes acumulados em locais que sugerem implantação de pavimento permeável como solução mitigadora.

5.4 Análise dos cenários escala do viário - CBJC 1 a 6 e CBAJC 7 a 12

Na escala do viário foi proposto também a solução mitigadora de implantação de jardim de chuva em espaços disponíveis nos passeios do trecho de recorte com os percentuais de ocupação e características apresentadas na metodologia. Os cenários CBJC 1 a 6 foram aplicados sobre o cenário base CB, já os cenários CBAJC 7 a 12 foram aplicados sobre o cenário base com árvores CBA. Estas soluções foram aplicadas no sistema viário do recorte não havendo intervenção nas demais bacias e vias integrantes do trecho de contribuição.

A **Tabela 61** apresenta os resultados encontrados de VP e VA, bem como o percentual de redução final em comparação ao cenário CB (cenário base) para os cenários CBJC 1 a 6 e CBA (cenário base com árvores) para os cenários CBJC 7 a 12. A **Figura 45** apresenta as reduções de VP e VA obtidas para os cenários CBJC 1 a 6 e a **Figura 46** apresenta as reduções de VP e VA obtidas para os cenários CBAJC 7 a 12.

Tabela 61. Reduções de VP e VA para cenários CBJC 1 a 6 e CBAJC 7 a 12

Cenário	Tempo de Retorno (anos)	VP (m^3/s)	VA (m^3)	Redução VP (%)	Redução VA (%)	Cenário de Comparação
CBJC1	2	0,735	1075	5,405	19,656	CB
CBJC1	10	1,126	1631	3,431	13,977	CB
CBJC1	25	1,412	2037	2,688	11,512	CB
CBJC2	2	0,735	1051	5,405	21,450	CB
CBJC2	10	1,126	1602	3,431	15,506	CB
CBJC2	25	1,412	2004	2,688	12,945	CB
CBJC3	2	0,735	1051	5,405	21,450	CB
CBJC3	10	1,126	1602	3,431	15,506	CB
CBJC3	25	1,412	2004	2,688	12,945	CB
CBJC4	2	0,688	860	11,454	35,725	CB
CBJC4	10	1,081	1414	7,290	25,422	CB
CBJC4	25	1,369	1818	5,651	21,025	CB
CBJC5	2	0,688	846	11,454	36,771	CB
CBJC5	10	1,081	1390	7,290	26,688	CB
CBJC5	25	1,369	1788	5,651	22,328	CB
CBJC6	2	0,688	846	11,454	36,771	CB
CBJC6	10	1,081	1390	7,290	26,688	CB
CBJC6	25	1,369	1788	5,651	22,328	CB
CBAJC7	2	0,744	1129	4,000	15,494	CBA
CBAJC7	10	1,134	1686	2,577	11,029	CBA
CBAJC7	25	1,420	2091	2,069	9,126	CBA
CBAJC8	2	0,744	1105	4,000	17,290	CBA
CBAJC8	10	1,134	1658	2,577	12,507	CBA
CBAJC8	25	1,420	2061	2,069	10,430	CBA
CBAJC9	2	0,744	1105	4,000	17,290	CBA
CBAJC9	10	1,134	1658	2,577	12,507	CBA
CBAJC9	25	1,420	2061	2,069	10,430	CBA
CBAJC10	2	0,719	1011	7,226	24,326	CBA
CBAJC10	10	1,109	1567	4,725	17,309	CBA
CBAJC10	25	1,396	1971	3,724	14,342	CBA
CBAJC11	2	0,719	989	7,226	25,973	CBA
CBAJC11	10	1,109	1538	4,725	18,839	CBA
CBAJC11	25	1,396	1939	3,724	15,732	CBA
CBAJC12	2	0,719	989	7,226	25,973	CBA
CBAJC12	10	1,109	1538	4,725	18,839	CBA
CBAJC12	25	1,396	1939	3,724	15,732	CBA

Figura 45. Reduções de VP e VA obtidas para cenários CBJC 1 a 6

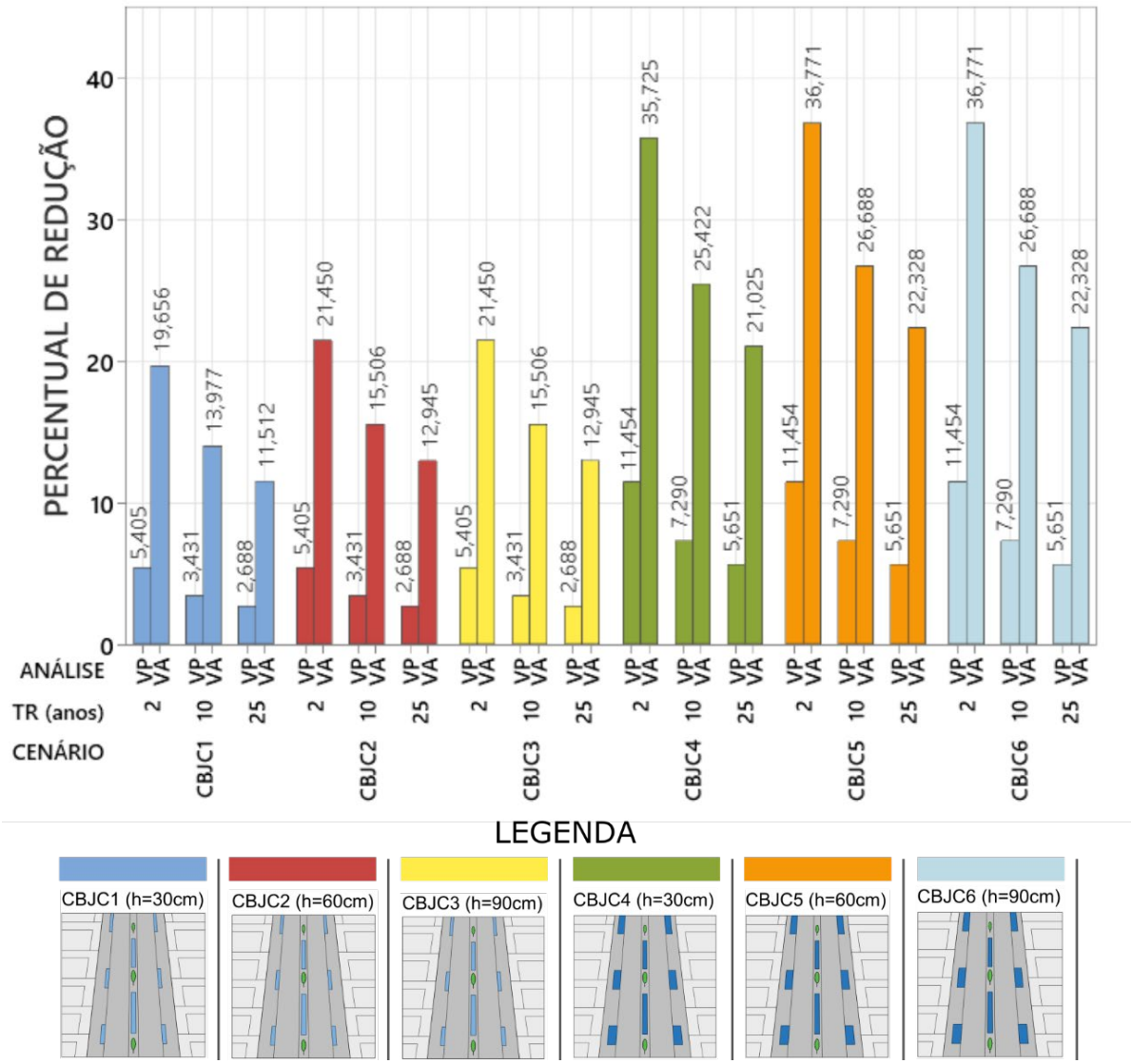
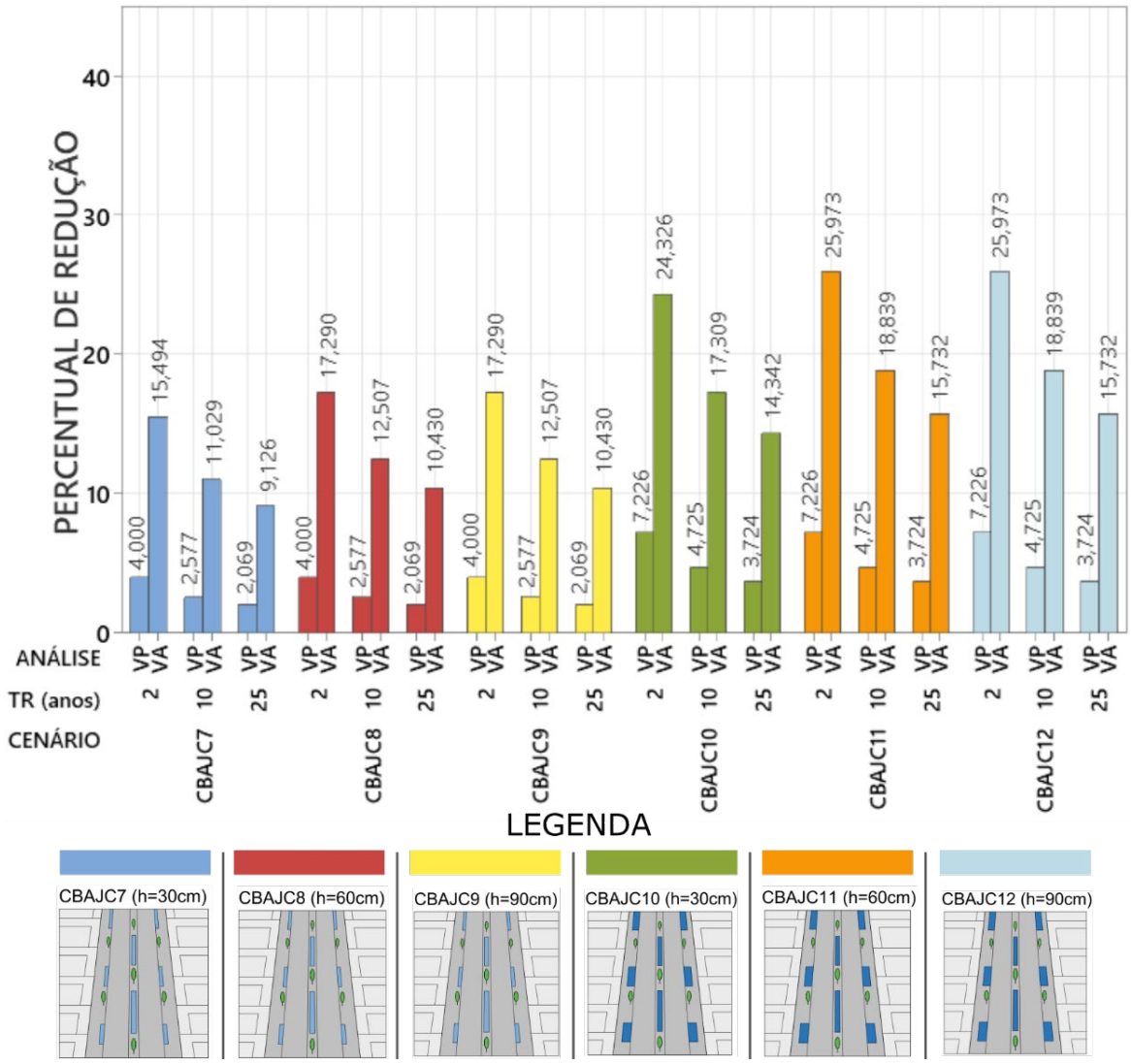


Figura 46. Reduções de VP e VA obtidas para cenários CBJC 7 a 12



Em análise a **Tabela 61** nota-se que os cenários CBJC apresentaram reduções de VP variando entre 2,688% e 5,405% para os cenários CBJC1 a CBJC3, reduções entre 5,651% e 11,454% para os cenários CBJC4 a 6. Já para VA os resultados de redução variaram entre 11,512% e 19,656% para CBJC1, entre 12,945% e 21,450% para os cenários CBJC2 e CBJC3, reduções entre 21,025% e 35,725% para o cenário CBJC4 e reduções entre 22,328% e 36,771% para os cenários CBJC5 e 6, sendo as variações em função dos TRs considerados.

Os cenários CBAJC apresentaram reduções de VP variando entre 2,069% e 4,00% para os cenários CBAJC7 a CBJC9, reduções entre 3,724% e 7,226% para os cenários CBAJC10 a 12. Já para VA os resultados de redução variaram entre 9,126% e 15,494% para CBAJC7, entre 10,430% e 17,290% para os cenários CBAJC8 e CBAJC9, reduções entre 14,342% e 24,326% para o cenário CBAJC10 e reduções

entre 15,732% e 25,973% para os cenários CBAJC11 e 12, sendo as variações em função dos TRs considerados.

Estes resultados demonstraram que a variação da profundidade das camadas de armazenamento não trouxe aumento de eficiência. Este fato se justifica pois nos jardins de chuva, aplica-se uma camada de solo de plantio (substrato) onde as vegetações são implantadas. Nas simulações realizadas o coeficiente de infiltração utilizado para o substrato não foi suficiente para permitir a passagem do fluxo para as camadas de armazenamento, portanto mesmo aumentando a camada de armazenamento não ocorre aumento de eficiência na redução de VP e observa-se uma ligeira eficiência no VA quando a camada foi alterada de 30cm para 60cm. Este fato demonstra a importância na definição dos parâmetros de infiltração para os tipos de solo utilizados nos jardins de chuva a serem implantados.

Por outro lado, foi encontrado aumento de eficiência quando comparamos os cenários CBJC1 a CBJC3 com cenários CBJC4 a CBJC6 e CBAJC7 a CBAJC9 com cenários CBAJC10 a CBAJC12. Este aumento se explica pelo aumento da área de ocupação da solução mitigadora. Como apresentado na metodologia os jardins de chuva possuem uma camada superior de acúmulo de fluxo além das camadas de infiltração, quanto maior a área de implantação do jardim, maior será a eficiência na redução dos fluxos atuantes na bacia devido ao acúmulo de fluxo superior.

Da mesma forma que ocorreu nos cenários com pavimento permeável, nos cenários CBAJC nota-se uma diminuição de eficiência quando comparada aos cenários CBJC (sem implantação das árvores). Isso ocorre devido a diminuição da área total para implantação dos jardins de chuva.

5.5 Análise dos cenários combinados - CC1 a CC12

Os resultados para os cenários combinados foram agrupados sendo CC1 a CC4, CC5 a CC8 e CC9 a CC12. Os cenários CC1 a CC4 combinam soluções na escala do viário com aplicação de soluções mitigadoras em PP e JC. Os cenários CC5 a CC8 acrescenta nesta combinação o cenário CAL1 com solução de lote e os cenários CC9 a CC12 acrescentam o cenário CAL2 aos cenários iniciais CC1 a CC4.

Para análise da redução de VP e VA, os cenários CC1, CC2, CC5, CC6, CC9 e CC10 apresentam os resultados em comparação ao cenário CB (cenário base), já os cenários CC3, CC4, CC7, CC8, CC11 e CC12 em comparação ao cenário CBA

(cenário base com árvores). A **Tabela 62** apresenta os resultados encontrados de VP e VA após a simulação dos cenários, bem como o percentual de redução final para os cenários CC1 a CC12. A **Figura 47** apresenta as reduções de VP e VA obtidas para os cenários CC1 a CC4, a **Figura 48** para os cenários CC5 a CC8 e a **Figura 49** para os cenários CC9 e CC12. Os resultados das reduções foram agrupados conforme cada cenário e tempo de retorno simulado.

Tabela 62. Reduções de VP e VA para os cenários CC1 a CC4

Cenário	Tempo de Retorno (anos)	VP (m^3/s)	VA (m^3)	Redução VP (%)	Redução VA (%)	Cenário de Comparação
CC1	2	0,272	234	64,994	82,511	CB
CC1	10	0,699	724	40,051	61,814	CB
CC1	25	1,003	1116	30,875	51,520	CB
CC2	2	0,237	208	69,498	84,454	CB
CC2	10	0,610	652	47,684	65,612	CB
CC2	25	0,874	1041	39,766	54,778	CB
CC3	2	0,300	269	61,290	79,865	CBA
CC3	10	0,727	770	37,543	59,367	CBA
CC3	25	1,061	1163	26,828	49,457	CBA
CC4	2	0,274	243	64,645	81,811	CBA
CC4	10	0,668	730	42,612	61,478	CBA
CC4	25	1,054	1150	27,310	50,022	CBA
CC5	2	0,212	161	72,716	87,967	CB
CC5	10	0,585	623	49,828	67,141	CB
CC5	25	0,891	1005	38,594	56,342	CB
CC6	2	0,188	144	75,804	89,238	CB
CC6	10	0,511	552	56,175	70,886	CB
CC6	25	0,777	930	46,451	59,600	CB
CC7	2	0,234	193	69,806	85,554	CBA
CC7	10	0,634	669	45,533	64,697	CBA
CC7	25	0,923	1052	36,345	54,281	CBA
CC8	2	0,216	173	72,129	87,051	CBA
CC8	10	0,578	629	50,344	66,807	CBA
CC8	25	0,920	1051	36,552	54,324	CBA
CC9	2	0,240	197	69,112	85,277	CB
CC9	10	0,634	673	45,626	64,504	CB
CC9	25	0,947	1060	34,735	53,953	CB
CC10	2	0,210	175	72,973	86,921	CB
CC10	10	0,567	602	51,372	68,249	CB
CC10	25	0,831	985	42,729	57,211	CB
CC11	2	0,265	230	65,806	82,784	CBA
CC11	10	0,687	719	40,979	62,058	CBA
CC11	25	0,996	1107	31,310	51,890	CBA
CC12	2	0,241	207	68,903	84,506	CBA
CC12	10	0,627	679	46,134	64,169	CBA
CC12	25	0,994	1100	31,448	52,195	CBA

Figura 47. Reduções de VP e VA obtidas para cenários CC1 a CC4

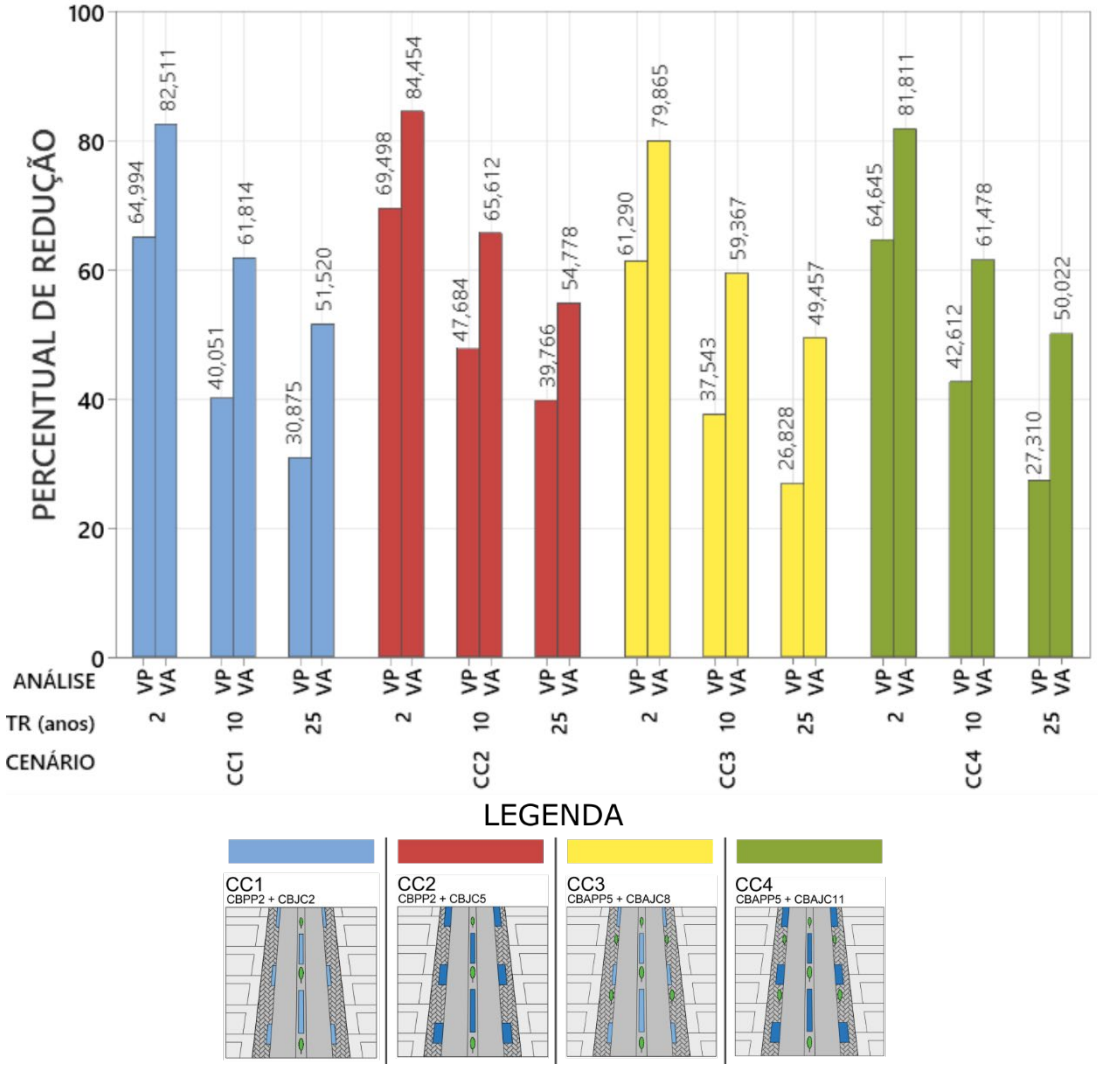


Figura 48. Reduções de VP e VA obtidas para os cenários CC5 a CC8

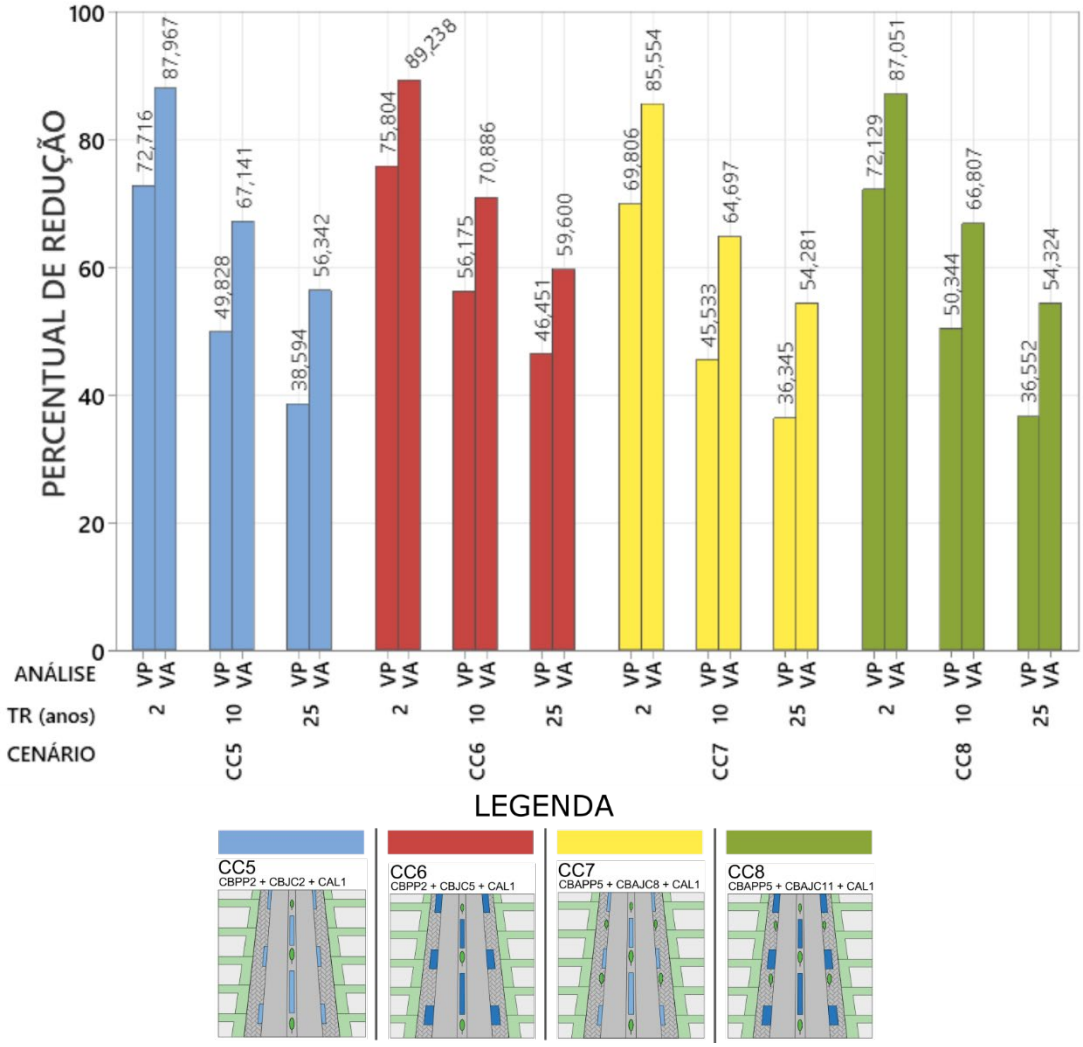
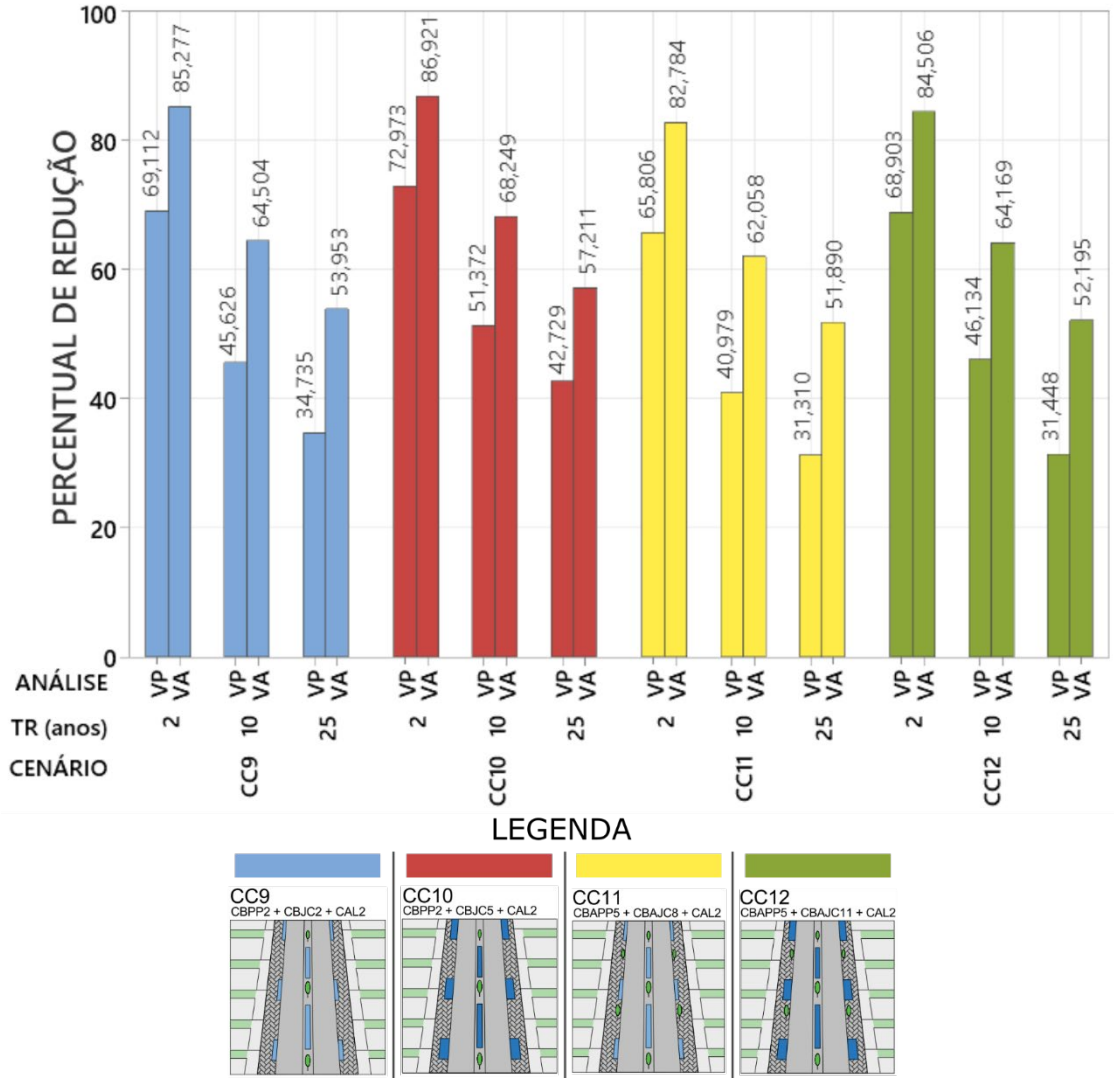


Figura 49. Reduções de VP e VA obtidas para os cenários CC9 a CC12



Em análise a **Tabela 62** nota-se que os cenários CC apresentaram reduções de VP variando entre 30,875% e 64,994% para o CC1, entre 39,766% e 69,498% para o CC2, entre 26,828% e 61,290% para o CC3, entre 27,310% e 64,645% para o CC4, entre 38,594% e 72,716% para o CC5, entre 46,451% e 75,804% para o CC6, entre 36,345% e 69,806% para o CC7, entre 36,552% e 72,129% para o CC8, entre 34,735% e 69,112% para o CC9, entre 42,729% e 72,973% para o CC10, entre 31,310% e 65,806% para o CC11 e entre 31,448% e 68,903% para o CC12. Já para o VA, os resultados de redução variaram entre 51,520% e 82,511% para o CC1, entre 54,778% e 84,454% para o CC2, entre 49,457% e 79,865% para o CC3, entre 50,022% e 81,811% para o CC4, entre 56,342% e 87,967% para o CC5, entre 59,600% e 89,238% para o CC6, entre 54,281% e 85,554% para o CC7, entre 54,324% e 87,051% para o CC8, entre 53,953% e 85,277% para o CC9, entre

57,211% e 86,921% para o CC10, entre 51,890% e 82,784% para o CC11 e entre 52,195% e 84,506% para o CC12 sendo as variações em função dos TRs considerados.

Como as profundidades de armazenamento foram padronizadas nos cenários combinados em 60cm, os cenários que apresentam maior eficiência são os cenários que possuem mais área disponível para implantação das soluções mitigadoras como jardins de chuva e áreas permeáveis nos lotes (CC6).

Os cenários que combinam jardins de chuvas de maiores dimensões, quando comparados com os cenários com menores áreas para jardins de chuva apresentaram melhores eficiências justamente pela possibilidade dos jardins de chuva armazenarem o fluxo em sua camada superior sendo mais eficiente para armazenamento de volumes devido às maiores áreas.

Esta diferença de eficiência pode ser observada quando comparados os cenários dois a dois CC1 com CC2 e CC3 com CC4 e sucessivamente os demais cenários. Estes resultados demonstraram a importância da utilização de soluções mitigadoras implantadas de forma conjunta tanto na escala do lote quanto na escala do viário trazendo reduções muito significativas quando comparadas aos cenários isolados e os benefícios de cada uma das soluções do ponto de vista ambiental, climático e de mobilidade.

5.6 Ranking 1 - Eficiência hidráulica em função da área disponível no recorte

A fim de analisar a eficiência de cada cenário e posteriormente elaborar um ranking, foi verificado o percentual da relação entre as áreas das soluções mitigadoras e a área total disponível no viário do recorte. De posse destas relações percentuais, foram realizados gráficos comparativos entre a relação encontrada e as respectivas reduções de VP e VA para diferentes TRs.

Para elaboração destes gráficos foram considerados somente dois pontos, o ponto 0,0 pois, quando a relação entre área da solução e área total disponível é 0,00% a redução encontrada também é 0,00%, e o segundo ponto que relaciona as áreas com as reduções encontradas nas simulações. Desta forma obteve-se as retas de cada cenário e o coeficiente angular destas retas foi considerado como sua eficiência. A **Tabela 63** apresenta os valores da relação área da solução por área total disponível e o percentual de redução de VP e VA para cada cenário e TRs.

Tabela 63. Relação percentual de áreas e reduções VP e VA para TR 2, 10 e 25 anos

Cenário	Área das Soluções Mitigadoras (viário)	Area Total Disp. (viário)	Relação Área da solução x Área total do recorte (%)	TR 2		TR 10		TR 25	
				Red. VP (%)	Red. VA (%)	Red. VP (%)	Red. VA (%)	Red. VP (%)	Red. VA (%)
CBPP1	3.113,43	8.338,70	37,34	23,17	51,19	11,49	37,13	8,96	30,97
CBPP2	3.113,43	8.338,70	37,34	52,25	74,44	26,76	53,53	15,16	44,53
CBPP3	3.113,43	8.338,70	37,34	91,89	97,76	49,57	69,94	32,74	58,04
CBAPP4	3.013,43	8.338,70	36,14	22,84	49,78	11,43	36,15	9,03	30,20
CBAPP5	3.013,43	8.338,70	36,14	49,81	72,38	25,43	52,03	15,10	43,29
CBAPP6	3.013,43	8.338,70	36,14	84,77	94,91	46,99	67,97	30,62	56,37
CBJC1	467,00	8.338,70	5,60	5,41	19,66	3,43	13,98	2,69	11,51
CBJC2	467,00	8.338,70	5,60	5,41	21,45	3,43	15,51	2,69	12,95
CBJC3	467,00	8.338,70	5,60	5,41	21,45	3,43	15,51	2,69	12,95
CBJC4	854,00	8.338,70	10,24	11,45	35,72	7,29	25,42	5,65	21,03
CBJC5	854,00	8.338,70	10,24	11,45	36,77	7,29	26,69	5,65	22,33
CBJC6	854,00	8.338,70	10,24	11,45	36,77	7,29	26,69	5,65	22,33
CBAJC7	367,00	8.338,70	4,40	4,00	15,49	2,58	11,03	2,07	9,13
CBAJC8	367,00	8.338,70	4,40	4,00	17,29	2,58	12,51	2,07	10,43
CBAJC9	367,00	8.338,70	4,40	4,00	17,29	2,58	12,51	2,07	10,43
CBAJC10	574,00	8.338,70	6,88	7,23	24,33	4,73	17,31	3,72	14,34
CBAJC11	574,00	8.338,70	6,88	7,23	25,97	4,73	18,84	3,72	15,73
CBAJC12	574,00	8.338,70	6,88	7,23	25,97	4,73	18,84	3,72	15,73
CC1	3.365,43	8.338,70	40,36	64,99	82,51	40,05	61,81	30,88	51,52
CC2	3.365,43	8.338,70	40,36	69,50	84,45	47,68	65,61	39,77	54,78
CC3	3.265,43	8.338,70	39,16	61,29	79,87	37,54	59,37	26,83	49,46
CC4	3.265,43	8.338,70	39,16	64,65	81,81	42,61	61,48	27,31	50,02
CC5	3.365,43	8.338,70	40,36	72,72	87,97	49,83	67,14	38,59	56,34
CC6	3.365,43	8.338,70	40,36	75,80	89,24	56,17	70,89	46,45	59,60
CC7	3.265,43	8.338,70	39,16	69,81	85,55	45,53	64,70	36,34	54,28
CC8	3.265,43	8.338,70	39,16	72,13	87,05	50,34	66,81	36,55	54,32
CC9	3.365,43	8.338,70	40,36	69,11	85,28	45,63	64,50	34,73	53,95
CC10	3.365,43	8.338,70	40,36	72,97	86,92	51,37	68,25	42,73	57,21
CC11	3.265,43	8.338,70	39,16	65,81	82,78	40,98	62,06	31,31	51,89
CC12	3.265,43	8.338,70	39,16	68,90	84,51	46,13	64,17	31,45	52,19

A **Figura 50** a **Figura 55** apresentam os gráficos lineares para todos os cenários de viário considerando a metodologia descrita tanto para VP quanto para VA. Em seguida foi elaborado o Ranking 01 e os respectivos agrupamentos e dendrogramas apresentados na **Tabela 64** a **Tabela 69** e **Figura 56** a **Figura 61**.

Figura 50. Resultados para os cenários do viário e redução de VP (TR 2 anos)

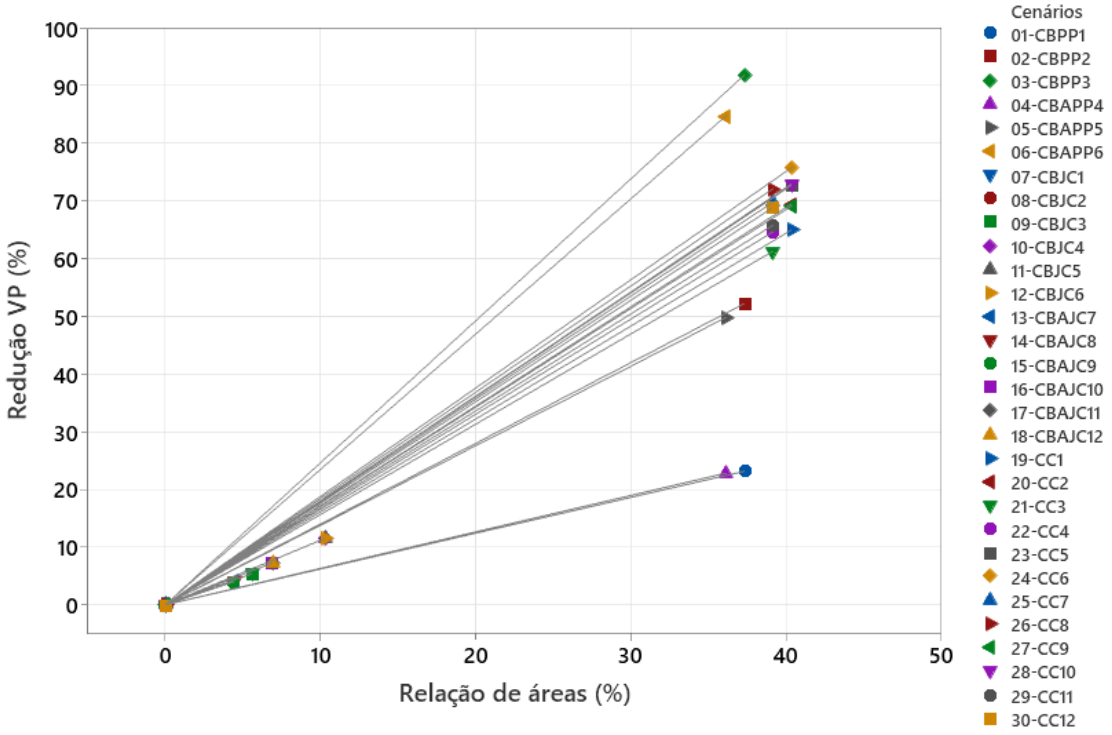


Figura 51. Resultados para os cenários do viário e redução de VP (TR 10 anos)

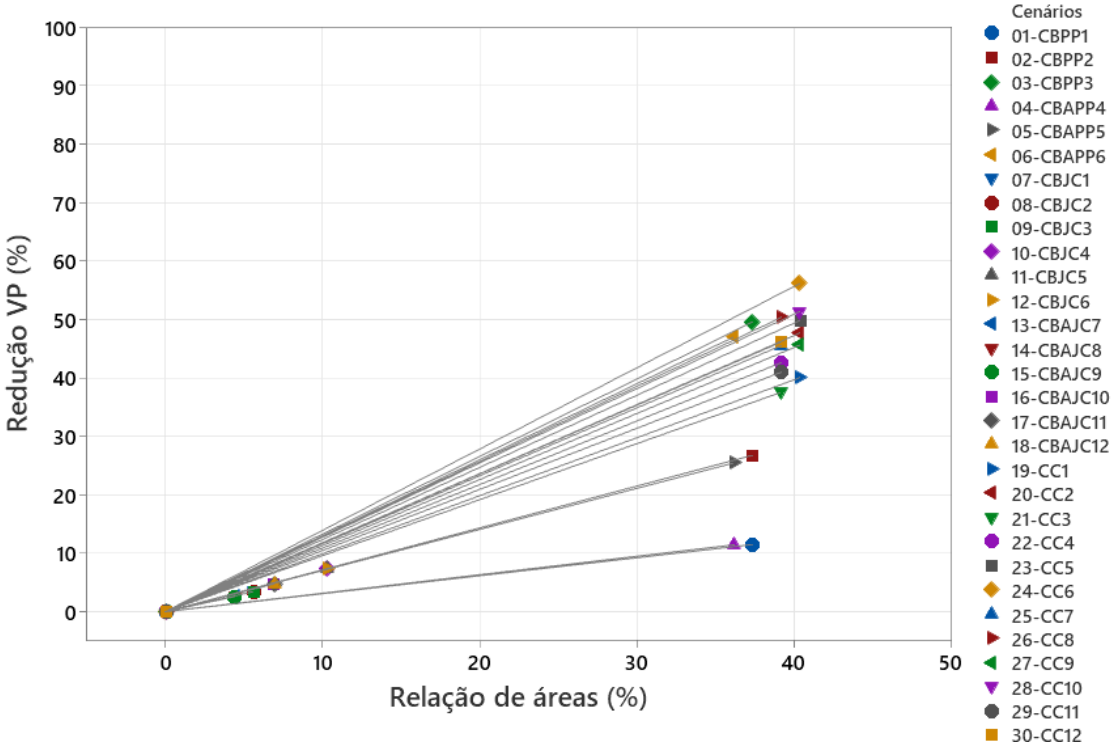


Figura 52. Resultados para os cenários do viário e redução de VP (TR 25 anos)

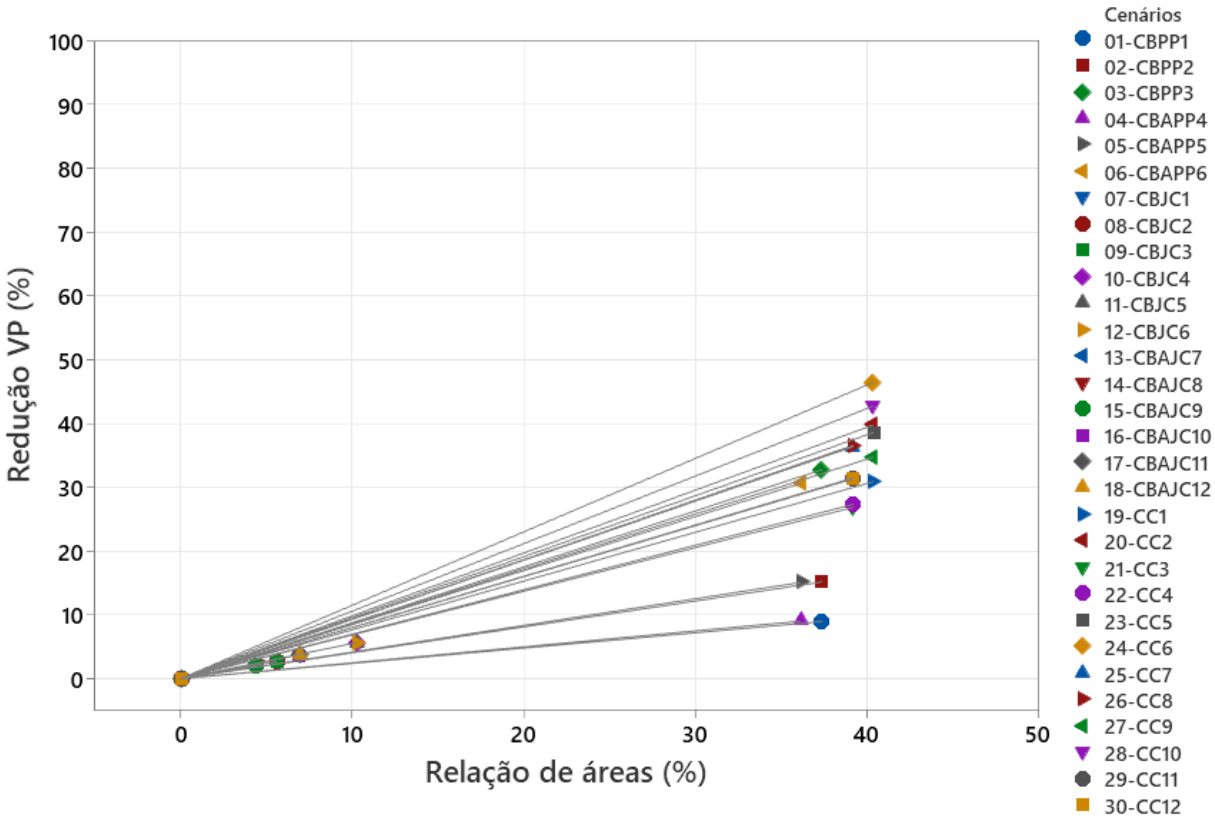


Figura 53. Resultados para os cenários do viário e redução de VA (TR 2 anos)

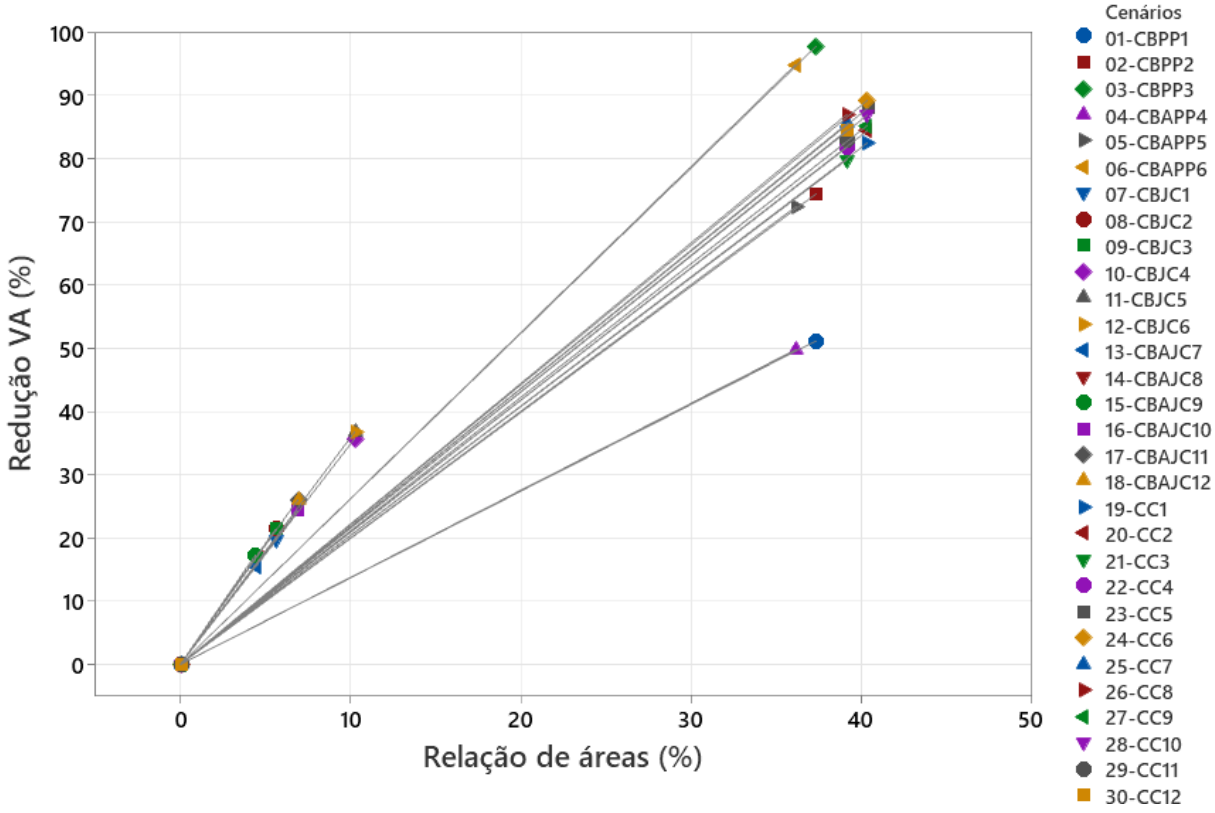


Figura 54. Resultados para os cenários do viário e redução de VA (TR 10 anos)

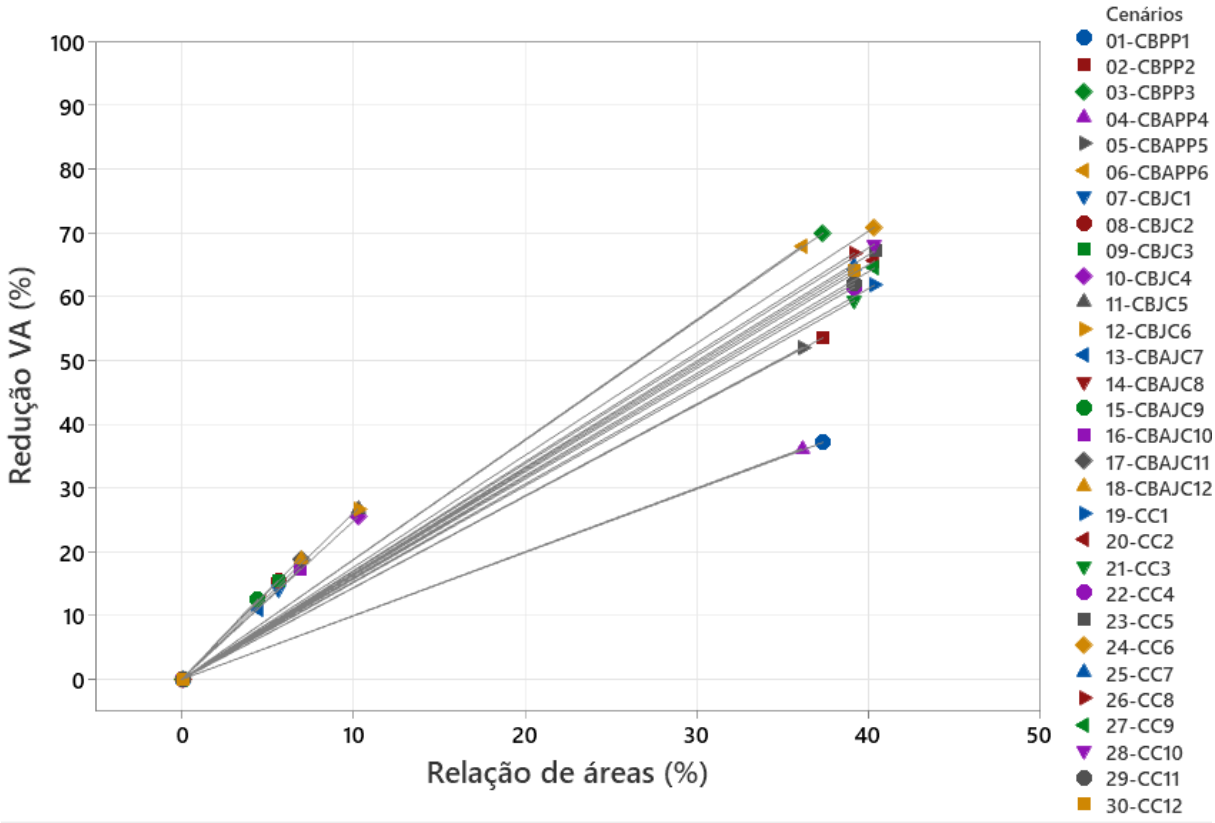


Figura 55. Resultados para os cenários do viário e redução de VA (TR 25 anos)

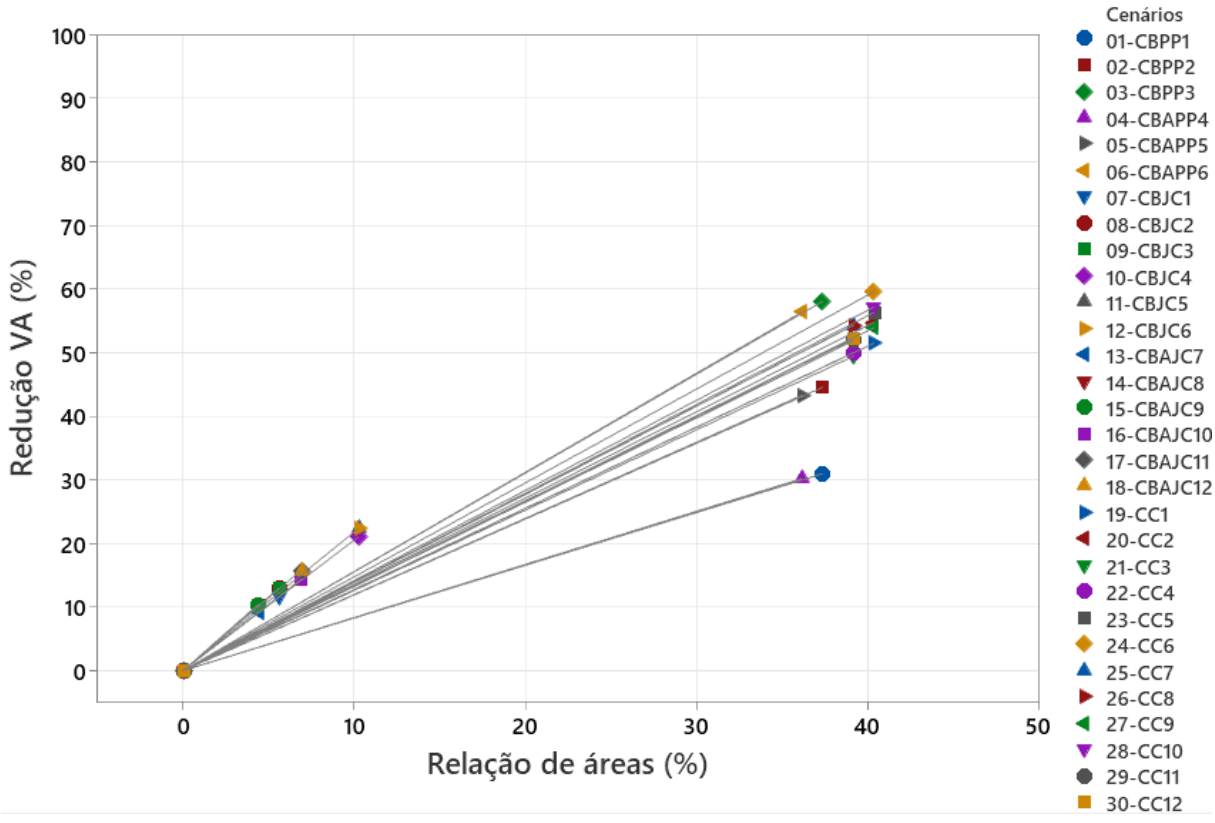


Tabela 64. Ranking 01 para VP e TR 2 anos

Cenário	Eficiência VP	Média da eficiência	Área da solução mitigadora (m²)	% da área da solução com área do recorte	% Redução
CBPP3	2,461	2,40	3113,43	37,34	91,89
CBAPP6	2,346		3013,43	36,14	84,77
CC6	1,878	1,81	3365,43	40,36	75,80
CC8	1,842		3265,43	39,16	72,13
CC10	1,808		3365,43	40,36	72,97
CC5	1,802		3365,43	40,36	72,72
CC7	1,783		3265,43	39,16	69,81
CC12	1,759		3265,43	39,16	68,90
CC2	1,722	1,66	3365,43	40,36	69,50
CC9	1,712		3365,43	40,36	69,11
CC11	1,681		3265,43	39,16	65,81
CC4	1,651		3265,43	39,16	64,65
CC1	1,610		3365,43	40,36	64,99
CC3	1,565		3265,43	39,16	61,29
CBPP2	1,399	1,39	3113,43	37,34	52,25
CBAPP5	1,378		3013,43	36,14	49,81
CBJC4	1,118	1,08	854,00	10,24	11,45
CBJC5	1,118		854,00	10,24	11,45
CBJC6	1,118		854,00	10,24	11,45
CBAJC10	1,051		574,00	6,88	7,23
CBAJC11	1,051		574,00	6,88	7,23
CBAJC12	1,051		574,00	6,88	7,23
CBJC1	0,966	0,94	467,00	5,60	5,41
CBJC2	0,966		467,00	5,60	5,41
CBJC3	0,966		467,00	5,60	5,41
CBAJC7	0,909		367,00	4,40	4,00
CBAJC8	0,909		367,00	4,40	4,00
CBAJC9	0,909		367,00	4,40	4,00
CBAPP4	0,632	0,63	3013,43	36,14	22,84
CBPP1	0,621		3113,43	37,34	23,17

Figura 56. Dendrograma de agrupamento - Ranking 01 - VP - TR 2 anos

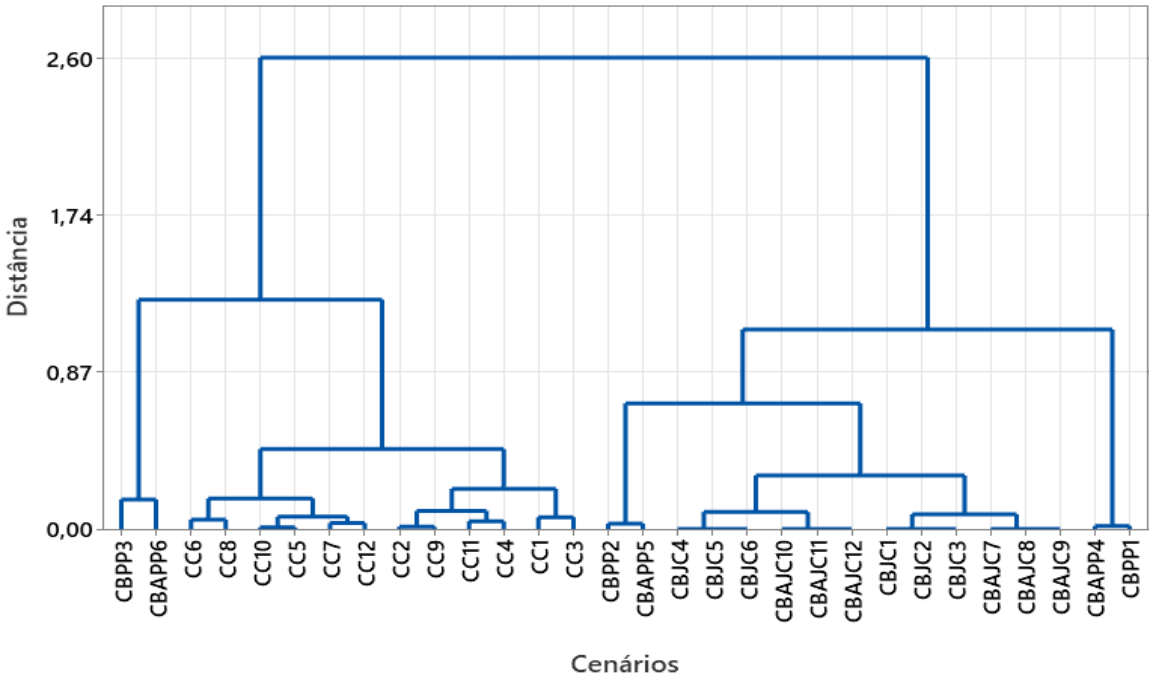


Tabela 65. Ranking 01 para VP e TR 10 anos

Cenário	Eficiência VP	Média da eficiência	Área da solução mitigadora (m²)	% da área da solução com área do recorte	% Redução
CC6	1,39	1,39	3365,43	40,36	56,17
CBPP3	1,33	1,31	3113,43	37,34	49,57
CBAPP6	1,30		3013,43	36,14	46,99
CC8	1,29	1,26	3265,43	39,16	50,34
CC10	1,27		3365,43	40,36	51,37
CC5	1,23		3365,43	40,36	49,83
CC2	1,18	1,16	3365,43	40,36	47,68
CC12	1,18		3265,43	39,16	46,13
CC7	1,16		3265,43	39,16	45,53
CC9	1,13		3365,43	40,36	45,63
CC4	1,09	1,02	3265,43	39,16	42,61
CC11	1,05		3265,43	39,16	40,98
CC1	0,99		3365,43	40,36	40,05
CC3	0,96		3265,43	39,16	37,54
CBPP2	0,72	0,70	3113,43	37,34	26,76
CBJC4	0,71		854,00	10,24	7,29
CBJC5	0,71		854,00	10,24	7,29
CBJC6	0,71		854,00	10,24	7,29
CBAPP5	0,70		3013,43	36,14	25,43
CBAJC10	0,69		574,00	6,88	4,73
CBAJC11	0,69		574,00	6,88	4,73
CBAJC12	0,69		574,00	6,88	4,73
CBJC1	0,61	0,60	467,00	5,60	3,43
CBJC2	0,61		467,00	5,60	3,43
CBJC3	0,61		467,00	5,60	3,43
CBAJC7	0,59		367,00	4,40	2,58
CBAJC8	0,59		367,00	4,40	2,58
CBAJC9	0,59		367,00	4,40	2,58
CBAPP4	0,32	0,31	3013,43	36,14	11,43
CBPP1	0,31		3113,43	37,34	11,49

Figura 57. Dendrograma de agrupamento - Ranking 01 - VP - TR 10 anos

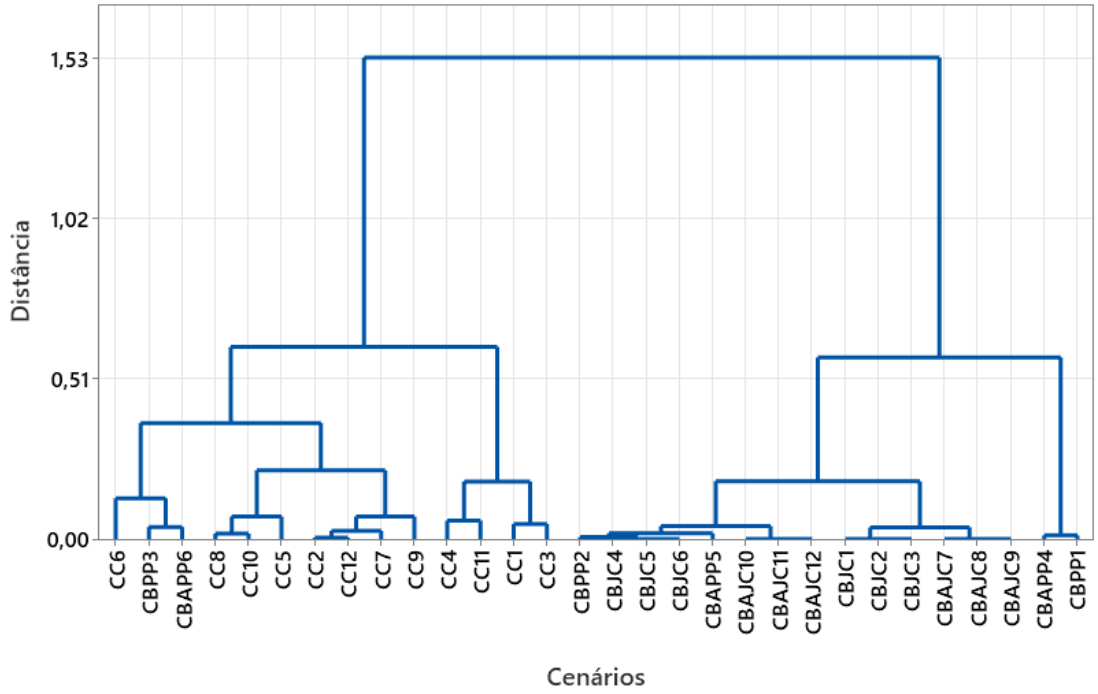


Tabela 66. Ranking 01 para VP e TR 25 anos

Cenário	Eficiência VP	Média da eficiência	Área da solução mitigadora (m²)	% da área da solução com área do recorte	% Redução
CC6	1,15	1,10	3365,43	40,36	46,45
CC10	1,06		3365,43	40,36	42,73
CC2	0,99	0,95	3365,43	40,36	39,77
CC5	0,96		3365,43	40,36	38,59
CC8	0,93		3265,43	39,16	36,55
CC7	0,93		3265,43	39,16	36,34
CBPP3	0,88	0,83	3113,43	37,34	32,74
CC9	0,86		3365,43	40,36	34,73
CBAPP6	0,85		3013,43	36,14	30,62
CC12	0,80		3265,43	39,16	31,45
CC11	0,80		3265,43	39,16	31,31
CC1	0,77		3365,43	40,36	30,88
CC4	0,70	0,69	3265,43	39,16	27,31
CC3	0,69		3265,43	39,16	26,83
CBJC4	0,55	0,55	854,00	10,24	5,65
CBJC5	0,55		854,00	10,24	5,65
CBJC6	0,55		854,00	10,24	5,65
CBAJC10	0,54		574,00	6,88	3,72
CBAJC11	0,54		574,00	6,88	3,72
CBAJC12	0,54		574,00	6,88	3,72
CBJC1	0,48	0,48	467,00	5,60	2,69
CBJC2	0,48		467,00	5,60	2,69
CBJC3	0,48		467,00	5,60	2,69
CBAJC7	0,47		367,00	4,40	2,07
CBAJC8	0,47		367,00	4,40	2,07
CBAJC9	0,47		367,00	4,40	2,07
CBAPP5	0,42	0,41	3013,43	36,14	15,10
CBPP2	0,41		3113,43	37,34	15,16
CBAPP4	0,25	0,24	3013,43	36,14	9,03
CBPP1	0,24		3113,43	37,34	8,96

Figura 58. Dendrograma de agrupamento - Ranking 01 - VP - TR 25 anos

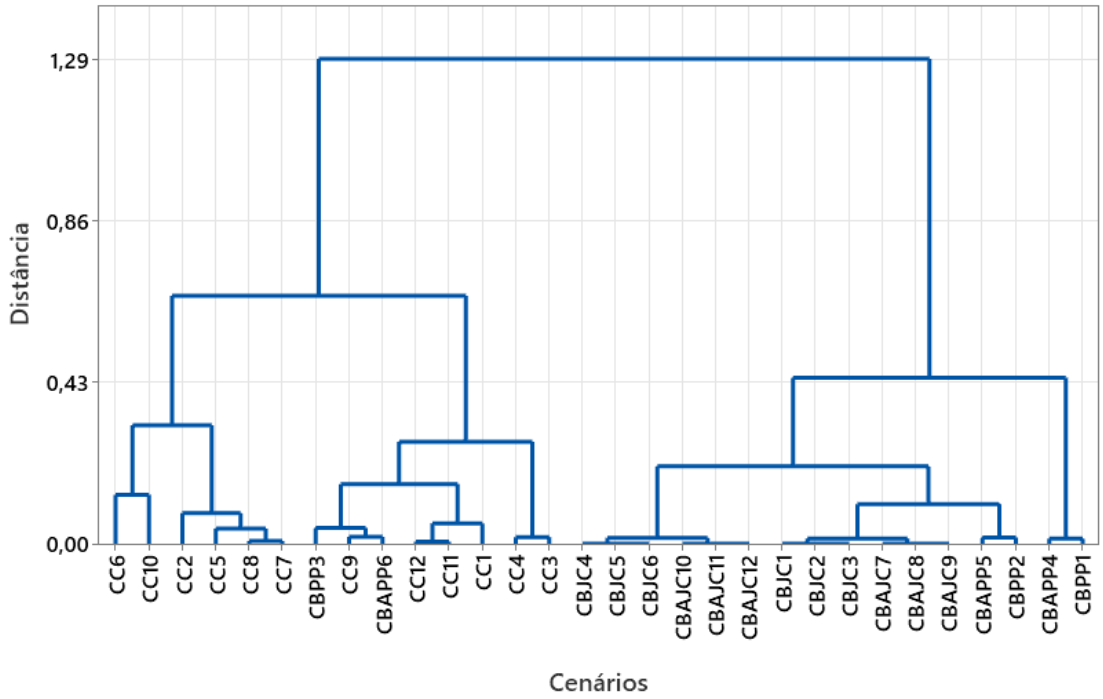


Tabela 67. Ranking 01 para VA e TR 2 anos

Cenário	Eficiência VP	Média da eficiência	Área da solução mitigadora (m²)	% da área da solução com área do recorte	% Redução
CBAJC8	3,93	3,93	367,00	4,40	17,29
CBAJC9	3,93		367,00	4,40	17,29
CBJC2	3,83	3,80	467,00	5,60	21,45
CBJC3	3,83		467,00	5,60	21,45
CBAJC11	3,77		574,00	6,88	25,97
CBAJC12	3,77		574,00	6,88	25,97
CBJC5	3,59	3,54	854,00	10,24	36,77
CBJC6	3,59		854,00	10,24	36,77
CBAJC10	3,54		574,00	6,88	24,33
CBAJC7	3,52		367,00	4,40	15,49
CBJC1	3,51		467,00	5,60	19,66
CBJC4	3,49		854,00	10,24	35,72
CBAPP6	2,63	2,62	3013,43	36,14	94,91
CBPP3	2,62		3113,43	37,34	97,76
CC8	2,22	2,18	3265,43	39,16	87,05
CC6	2,21		3365,43	40,36	89,24
CC7	2,18		3265,43	39,16	85,55
CC5	2,18		3365,43	40,36	87,97
CC12	2,16		3265,43	39,16	84,51
CC10	2,15		3365,43	40,36	86,92
CC11	2,11	2,06	3265,43	39,16	82,78
CC9	2,11		3365,43	40,36	85,28
CC2	2,09		3365,43	40,36	84,45
CC4	2,09		3265,43	39,16	81,81
CC1	2,04		3365,43	40,36	82,51
CC3	2,04		3265,43	39,16	79,87
CBAPP5	2,00		3013,43	36,14	72,38
CBPP2	1,99		3113,43	37,34	74,44
CBAPP4	1,38	1,37	3013,43	36,14	49,78
CBPP1	1,37		3113,43	37,34	51,19

Figura 59. Dendrograma de agrupamento - Ranking 01 - VA - TR 2 anos

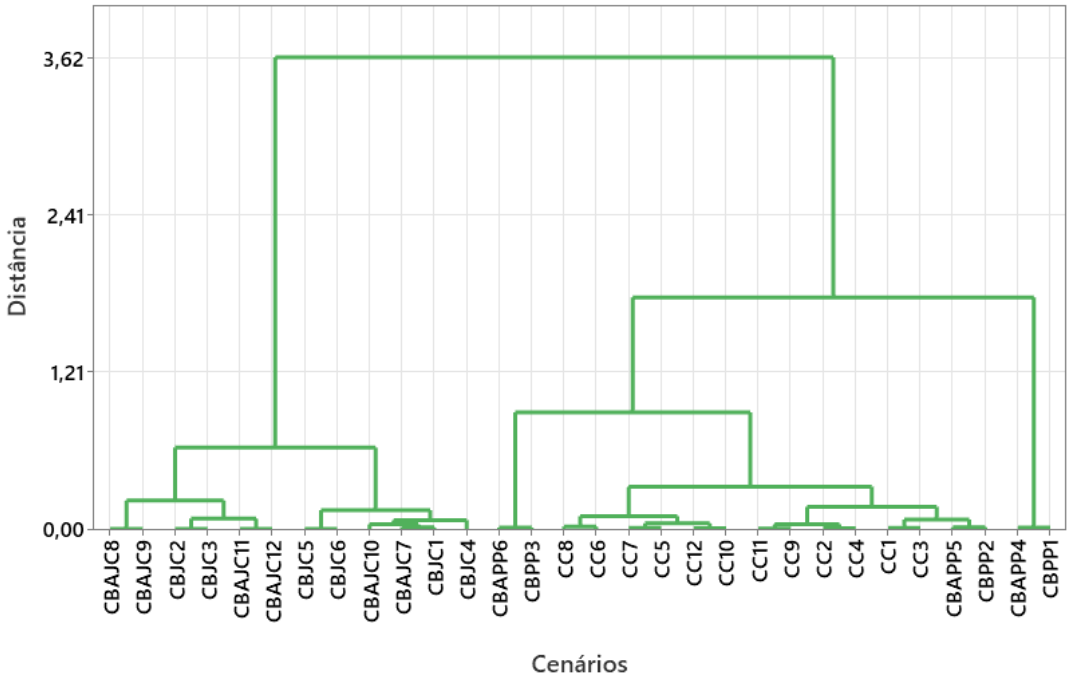


Tabela 68. Ranking 01 para VA e TR 10 anos

Cenário	Eficiência VP	Média da eficiência	Área da solução mitigadora (m²)	% da área da solução com área do recorte	% Redução
CBAJC8	2,84	2,84	367,00	4,40	12,51
CBAJC9	2,84		367,00	4,40	12,51
CBJC2	2,77	2,75	467,00	5,60	15,51
CBJC3	2,77		467,00	5,60	15,51
CBAJC11	2,74		574,00	6,88	18,84
CBAJC12	2,74		574,00	6,88	18,84
CBJC5	2,61	2,54	854,00	10,24	26,69
CBJC6	2,61		854,00	10,24	26,69
CBAJC10	2,52		574,00	6,88	17,31
CBAJC7	2,51		367,00	4,40	11,03
CBJC1	2,50		467,00	5,60	13,98
CBJC4	2,48		854,00	10,24	25,42
CBAPP6	1,88	1,88	3013,43	36,14	67,97
CBPP3	1,87		3113,43	37,34	69,94
CC6	1,76	1,68	3365,43	40,36	70,89
CC8	1,71		3265,43	39,16	66,81
CC10	1,69		3365,43	40,36	68,25
CC5	1,66		3365,43	40,36	67,14
CC7	1,65		3265,43	39,16	64,70
CC12	1,64		3265,43	39,16	64,17
CC2	1,63		3365,43	40,36	65,61
CC9	1,60	1,56	3365,43	40,36	64,50
CC11	1,58		3265,43	39,16	62,06
CC4	1,57		3265,43	39,16	61,48
CC1	1,53		3365,43	40,36	61,81
CC3	1,52		3265,43	39,16	59,37
CBAPP5	1,44	1,44	3013,43	36,14	52,03
CBPP2	1,43		3113,43	37,34	53,53
CBAPP4	1,00	1,00	3013,43	36,14	36,15
CBPP1	0,99		3113,43	37,34	37,13

Figura 60. Dendrograma de agrupamento - Ranking 01 - VA - TR 10 anos

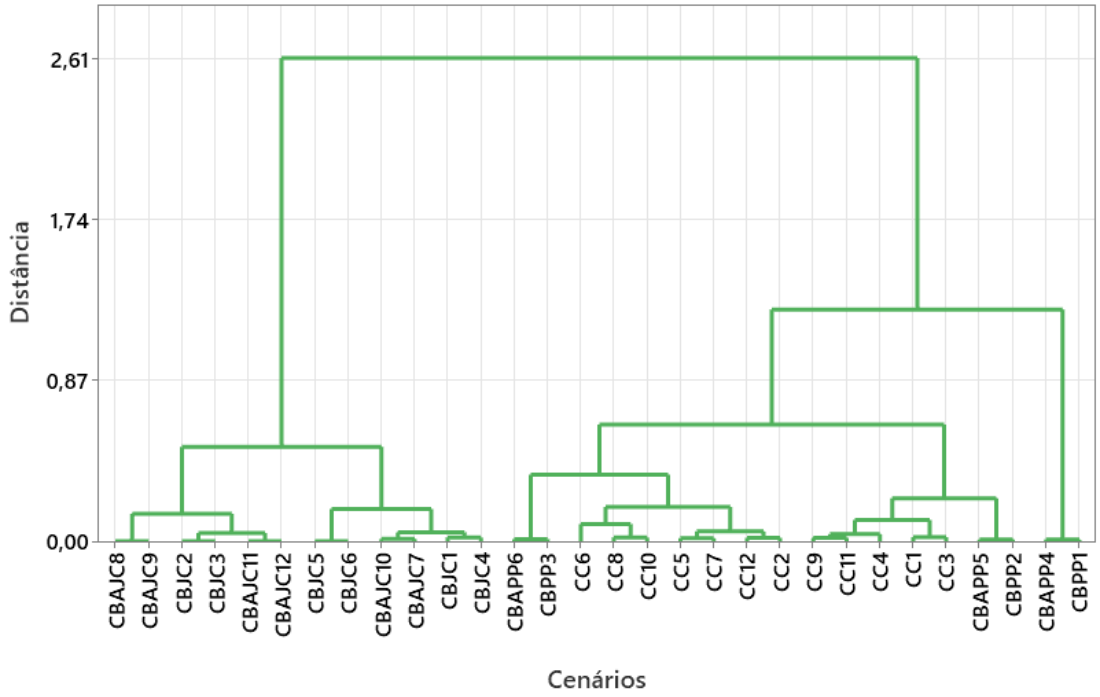
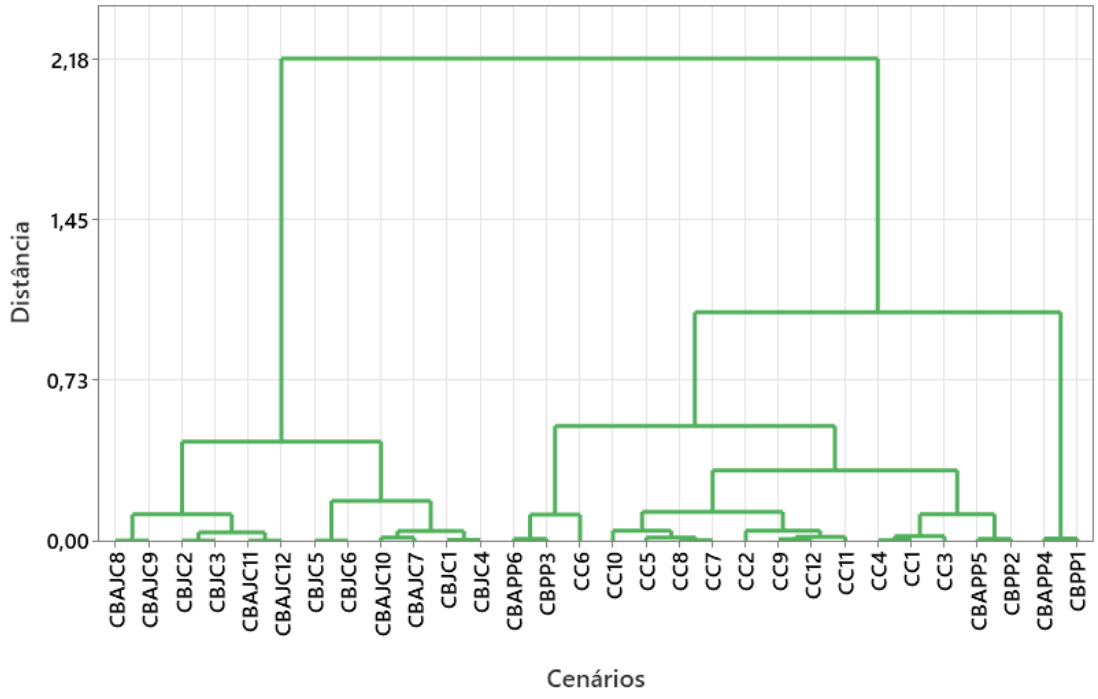


Tabela 69. Ranking 01 para VA e TR 25 anos

Cenário	Eficiência VP	Média da eficiência	Área da solução mitigadora (m²)	% da área da solução com área do recorte	% Redução
CBAJC8	2,37	2,37	367,00	4,40	10,43
CBAJC9	2,37		367,00	4,40	10,43
CBJC2	2,31	2,30	467,00	5,60	12,95
CBJC3	2,31		467,00	5,60	12,95
CBAJC11	2,29		574,00	6,88	15,73
CBAJC12	2,29		574,00	6,88	15,73
CBJC5	2,18	2,10	854,00	10,24	22,33
CBJC6	2,18		854,00	10,24	22,33
CBAJC10	2,08		574,00	6,88	14,34
CBAJC7	2,08		367,00	4,40	9,13
CBJC1	2,06		467,00	5,60	11,51
CBJC4	2,05		854,00	10,24	21,03
CBAPP6	1,56	1,53	3013,43	36,14	56,37
CBPP3	1,55		3113,43	37,34	58,04
CC6	1,48		3365,43	40,36	59,60
CC10	1,42	1,37	3365,43	40,36	57,21
CC5	1,40		3365,43	40,36	56,34
CC8	1,39		3265,43	39,16	54,32
CC7	1,39		3265,43	39,16	54,28
CC2	1,36		3365,43	40,36	54,78
CC9	1,34		3365,43	40,36	53,95
CC12	1,33		3265,43	39,16	52,19
CC11	1,33		3265,43	39,16	51,89
CC4	1,28	1,27	3265,43	39,16	50,02
CC1	1,28		3365,43	40,36	51,52
CC3	1,26		3265,43	39,16	49,46
CBAPP5	1,20	1,20	3013,43	36,14	43,29
CBPP2	1,19		3113,43	37,34	44,53
CBAPP4	0,84	0,83	3013,43	36,14	30,20
CBPP1	0,83		3113,43	37,34	30,97

Figura 61. Dendrograma de agrupamento - Ranking 01 - VA - TR 25 anos



Os resultados apresentados no ranking 01 para VP (**Tabela 64** a **Tabela 66**) demonstram que para TR 2 as soluções com pavimento permeável que possuem maior espessura na camada de armazenamento (CBPP3 e CBAPP6) apresentam maior eficiência estando em um agrupamento isolado das demais. Em seguida temos todos os cenários combinados (CC1 a CC12) que se agrupam com eficiências próximas, porém nota-se destaque para os cenários que foram combinados com a solução de lote que prevê 30% de AP (CC6, CC8, CC5, CC7), os cenários CC10 e CC12 que integram esse agrupamento são combinados com solução de lote com menor AP (20%) mas possuem jardins de chuva mais largos o que ajuda na melhora da eficiência.

Para os demais cenários com pavimento permeável de menor espessura da camada (CBPP2, CBAPP5, CBAPP4 e CBPP1) em conjunto com os cenários de jardim de chuva verifica-se menores eficiências, não recebendo destaque neste ranking.

Para os TRs de 10 e 25 anos nota-se rankings muito similares, onde as soluções com PP e CC apresentam melhores eficiências e os cenários JC com pior eficiência para VP porém com algumas trocas de posição na classificação dos cenários. Nota-se também que a diferença entre as eficiências diminui e os agrupamentos tornam-se mais próximos, demonstrando similaridade na resposta das simulações para chuvas mais expressivas.

Os cenários CBAPP4 e CBPP1 apresentam-se isolados negativamente para todos os TRs, demonstrando que cenários com PP e camadas de armazenamento menos expressivas não são indicados para redução de VP.

Para os resultados apresentados para VA (**Tabela 67** a **Tabela 69**) temos uma inversão nas eficiências para os três TRs simulados onde os cenários com jardim de chuva nas suas diversas combinações mostram-se mais eficientes. O agrupamento ficou muito próximo demonstrando similaridade de eficiência nestes cenários com jardim de chuva tanto para situações com maior ou menor profundidade da camada de armazenamento, reforçando a observação apontada na análise individual dos cenários onde a camada de substrato bloqueia o fluxo e não traz aumento de eficiência mesmo aumentando a camada inferior de armazenamento

Para os demais cenários PP e CC os resultados são menos expressivos com menores eficiências. Novamente os cenários CBAPP4 e CBPP1 apresentam-se isolados negativamente.

Essa inversão de cenários para eficiência de VA demonstra que as camadas superiores dos jardins de chuva auxiliam na redução de VA pois representam maiores eficiências

5.7 Ranking 02 - Eficiência hidráulica em função da área impermeável total

Neste ranking 02 foi verificado o percentual da relação entre as áreas das soluções mitigadoras e a área impermeável total do recorte (bacias 01 a 04). De posse destas relações percentuais foram realizados gráficos comparativos entre a relação encontrada e as respectivas reduções de VP e VA para diferentes TRs.

Este ranking foi definido com o objetivo de verificar a relação das eficiências com o percentual que a solução mitigadora representa na área impermeável total, premissa utilizada em estudos de planejamento urbano para implantação de soluções de infraestrutura verde.

Para elaboração destes gráficos foram considerados somente dois pontos, o ponto 0,0 pois, quando a relação entre área da solução e área impermeável total é 0,00% a redução encontrada também é 0,00%, e o segundo ponto que relaciona as áreas com as reduções encontradas nas simulações. Desta forma obteve-se as retas de cada cenário e o coeficiente angular destas retas foi considerado como sua eficiência. A **Tabela 70** apresenta os valores da relação área da solução por área total impermeável e o percentual de redução de VP e VA para cada cenário e TRs.

Tabela 70. Relação percentual de áreas e reduções VP e VA para TR 2, 10 e 25 anos

Cenário	Área das Soluções Mitigadoras (viário) (m²)	Area Impermeável Total (m²)	Relação Área da solução x Área Imperm. total (%)	TR 2		TR 10		TR 25	
				Red. VP (%)	Red. VA (%)	Red. VP (%)	Red. VA (%)	Red. VP (%)	Red. VA (%)
CBPP1	3.113,43	27.255,17	11,42	23,17	51,19	11,49	37,13	8,96	30,97
CBPP2	3.113,43	27.255,17	11,42	52,25	74,44	26,76	53,53	15,16	44,53
CBPP3	3.113,43	27.255,17	11,42	91,89	97,76	49,57	69,94	32,74	58,04
CBAPP4	3.013,43	27.255,17	11,06	22,84	49,78	11,43	36,15	9,03	30,20
CBAPP5	3.013,43	27.255,17	11,06	49,81	72,38	25,43	52,03	15,10	43,29
CBAPP6	3.013,43	27.255,17	11,06	84,77	94,91	46,99	67,97	30,62	56,37
CBJC1	467,00	30.153,60	1,55	5,41	19,66	3,43	13,98	2,69	11,51
CBJC2	467,00	30.153,60	1,55	5,41	21,45	3,43	15,51	2,69	12,95
CBJC3	467,00	30.153,60	1,55	5,41	21,45	3,43	15,51	2,69	12,95
CBJC4	854,00	29.766,60	2,87	11,45	35,72	7,29	25,42	5,65	21,03
CBJC5	854,00	29.766,60	2,87	11,45	36,77	7,29	26,69	5,65	22,33
CBJC6	854,00	29.766,60	2,87	11,45	36,77	7,29	26,69	5,65	22,33
CBAJC7	367,00	30.153,60	1,22	4,00	15,49	2,58	11,03	2,07	9,13
CBAJC8	367,00	30.153,60	1,22	4,00	17,29	2,58	12,51	2,07	10,43
CBAJC9	367,00	30.153,60	1,22	4,00	17,29	2,58	12,51	2,07	10,43
CBAJC10	574,00	29.946,60	1,92	7,23	24,33	4,73	17,31	3,72	14,34
CBAJC11	574,00	29.946,60	1,92	7,23	25,97	4,73	18,84	3,72	15,73
CBAJC12	574,00	29.946,60	1,92	7,23	25,97	4,73	18,84	3,72	15,73
CC1	3.365,43	27.255,17	12,35	64,99	82,51	40,05	61,81	30,88	51,52
CC2	3.365,43	27.255,17	12,35	69,50	84,45	47,68	65,61	39,77	54,78
CC3	3.265,43	27.255,17	11,98	61,29	79,87	37,54	59,37	26,83	49,46
CC4	3.265,43	27.255,17	11,98	64,65	81,81	42,61	61,48	27,31	50,02
CC5	3.365,43	24.776,86	13,58	72,72	87,97	49,83	67,14	38,59	56,34
CC6	3.365,43	24.776,86	13,58	75,80	89,24	56,17	70,89	46,45	59,60
CC7	3.265,43	24.776,86	13,18	69,81	85,55	45,53	64,70	36,34	54,28
CC8	3.265,43	24.776,86	13,18	72,13	87,05	50,34	66,81	36,55	54,32
CC9	3.365,43	25.914,59	12,99	69,11	85,28	45,63	64,50	34,73	53,95
CC10	3.365,43	25.914,59	12,99	72,97	86,92	51,37	68,25	42,73	57,21
CC11	3.265,43	25.914,59	12,60	65,81	82,78	40,98	62,06	31,31	51,89
CC12	3.265,43	25.914,59	12,60	68,90	84,51	46,13	64,17	31,45	52,19

A **Figura 62 a Figura 64** apresentam os gráficos lineares para todos os cenários de viário considerando a metodologia descrita tanto para VP quanto para VA. Em seguida foi elaborado o Ranking 02 e os respectivos agrupamentos e dendrogramas apresentados na **Tabela 71** a **Tabela 76** e **Figura 68** a **Figura 73**.

Figura 62. Resultados para os cenários do viário e redução de VP (TR 2 anos)

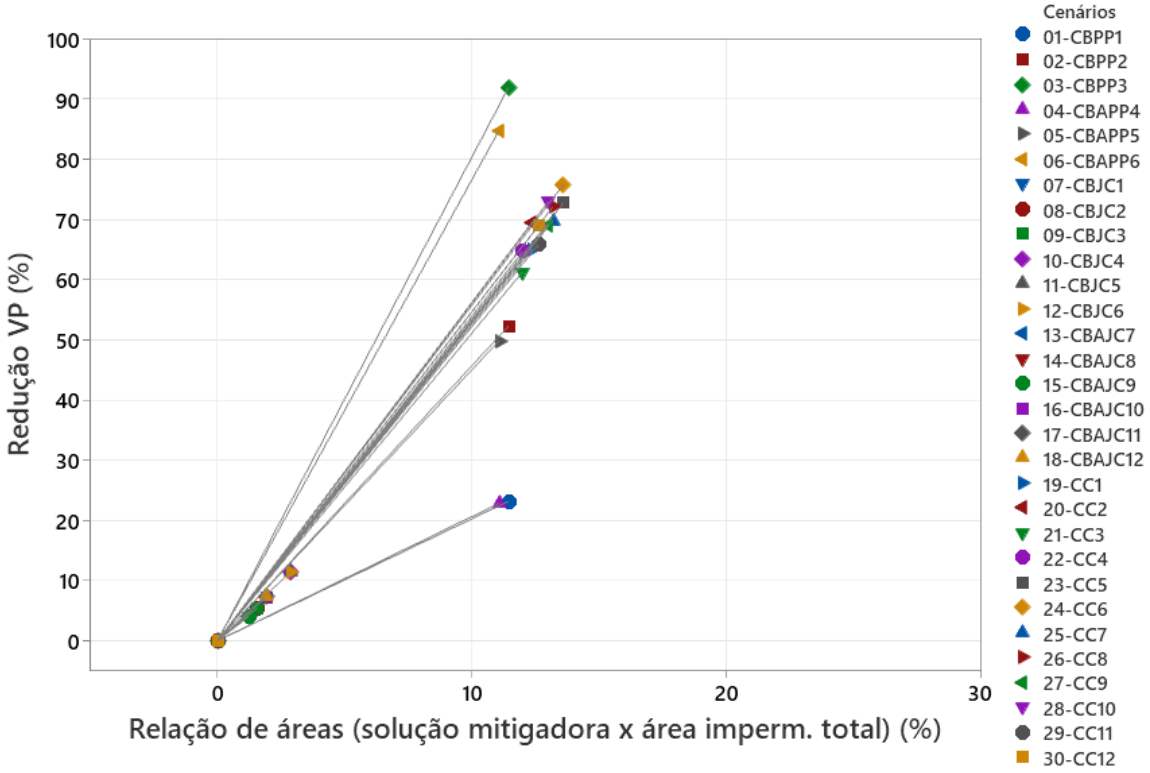


Figura 63. Resultados para os cenários do viário e redução de VP (TR 10 anos)

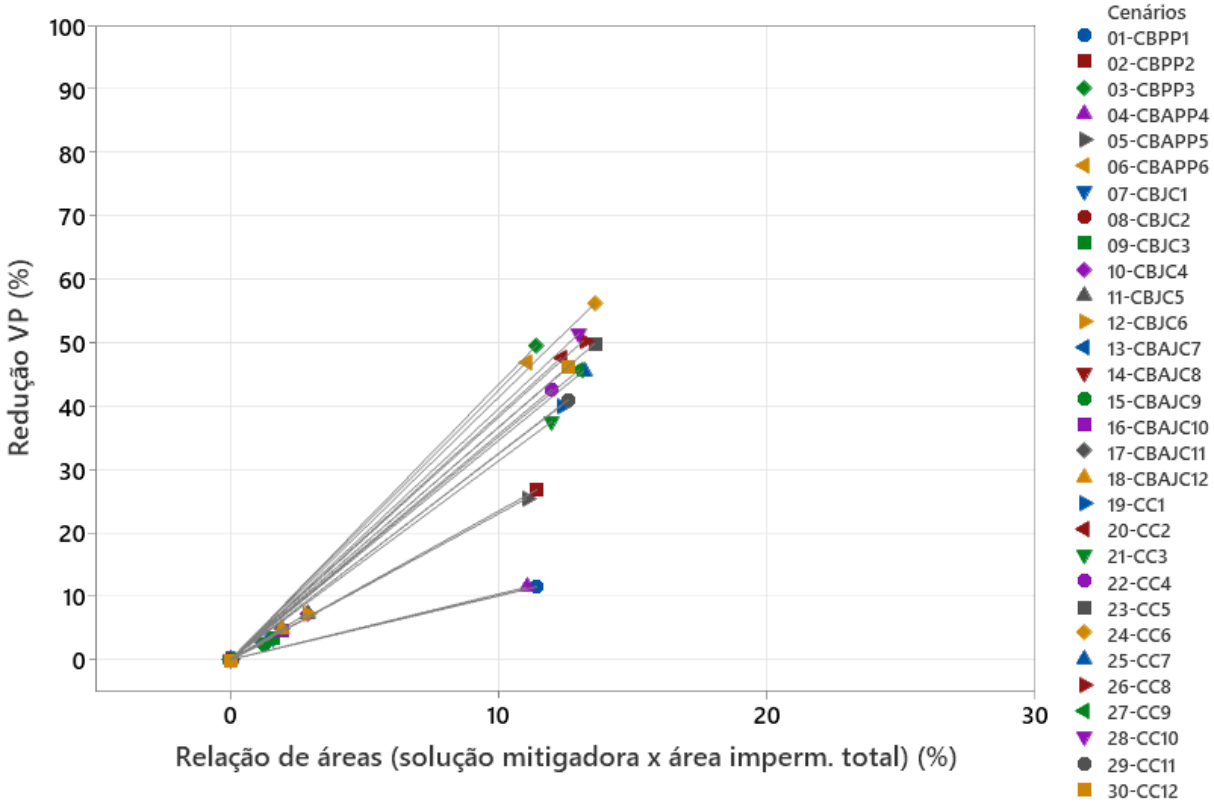


Figura 64. Resultados para os cenários do viário e redução de VP (TR 25 anos)

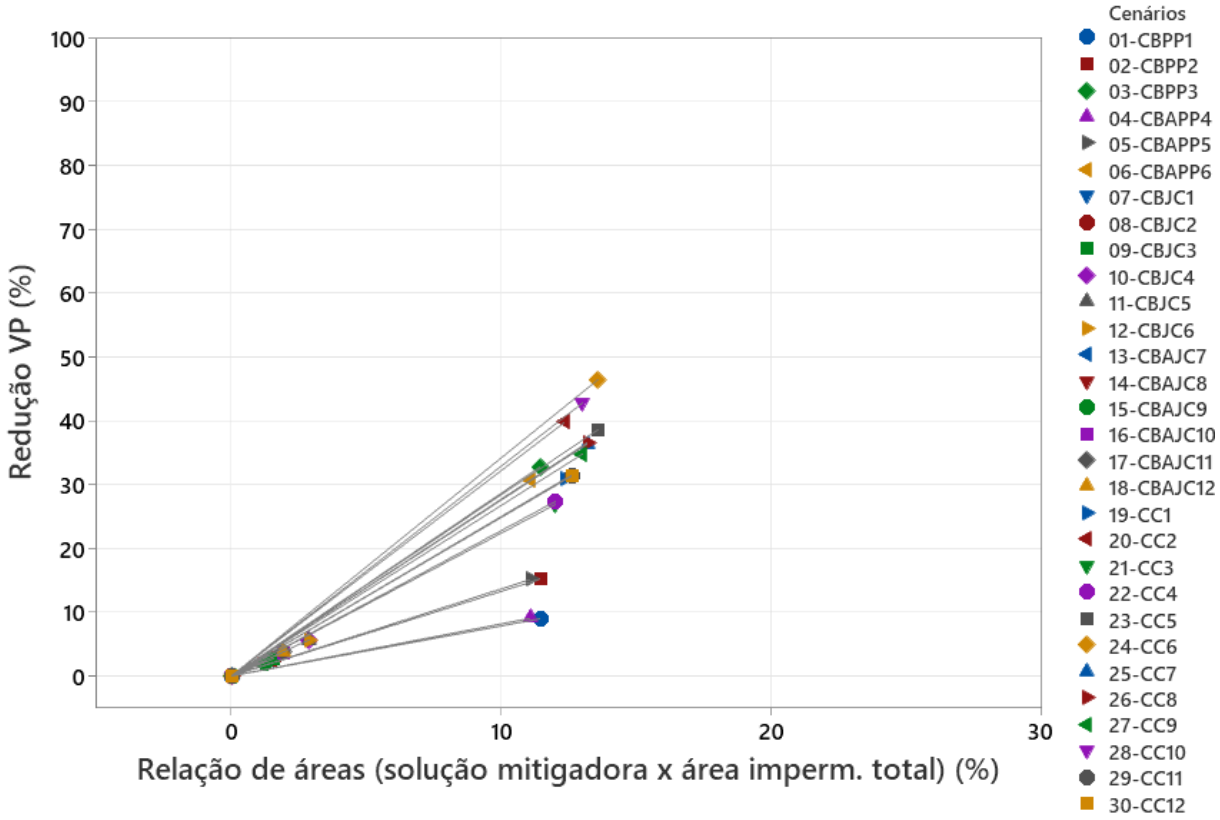


Figura 65. Resultados para os cenários do viário e redução de VA (TR 2 anos)

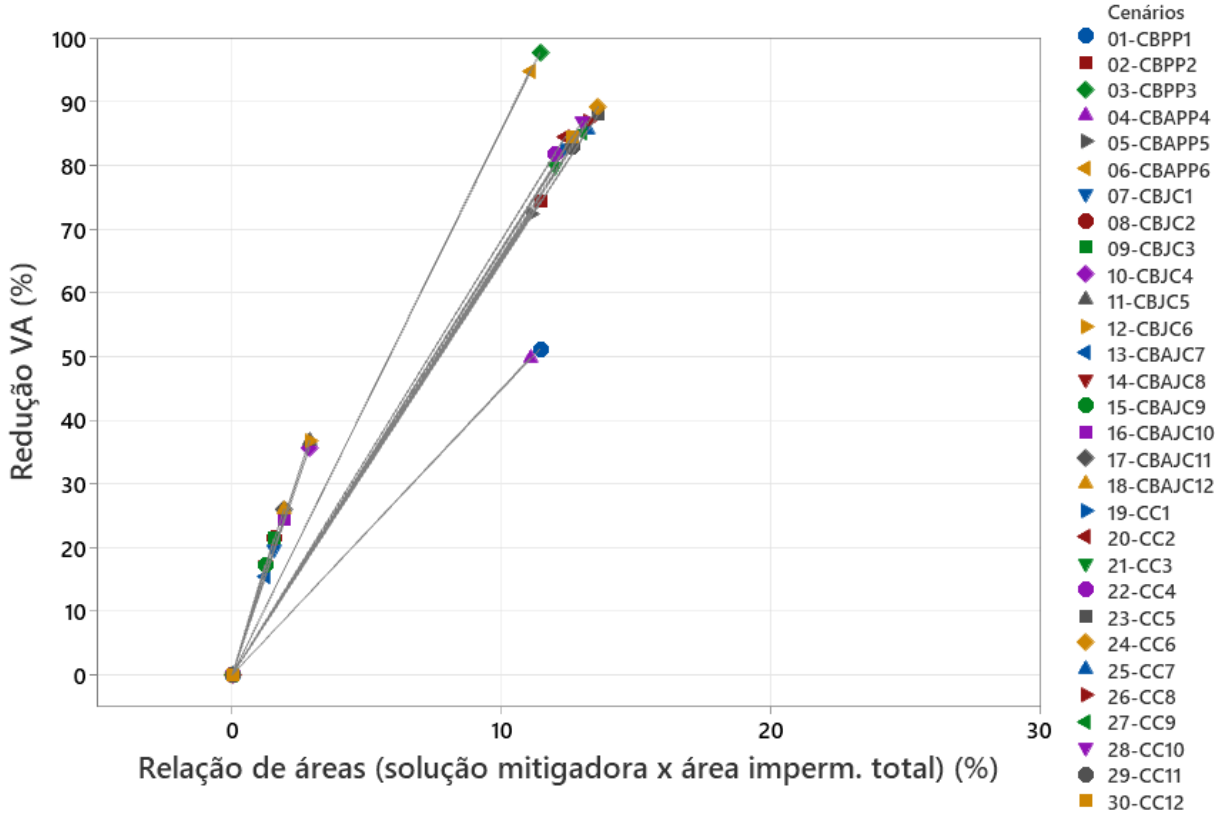


Figura 66. Resultados para os cenários do viário e redução de VA (TR 10 anos)

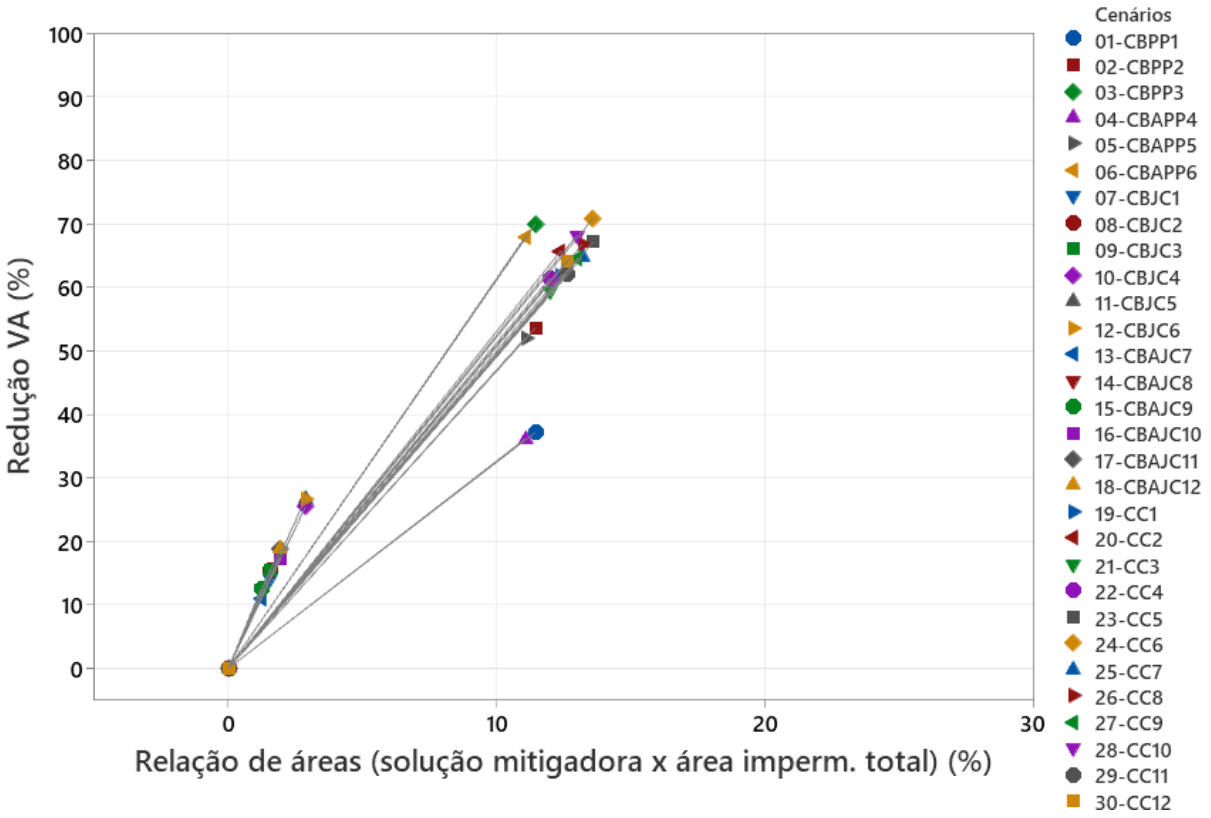


Figura 67. Resultados para os cenários do viário e redução de VA (TR 25 anos)

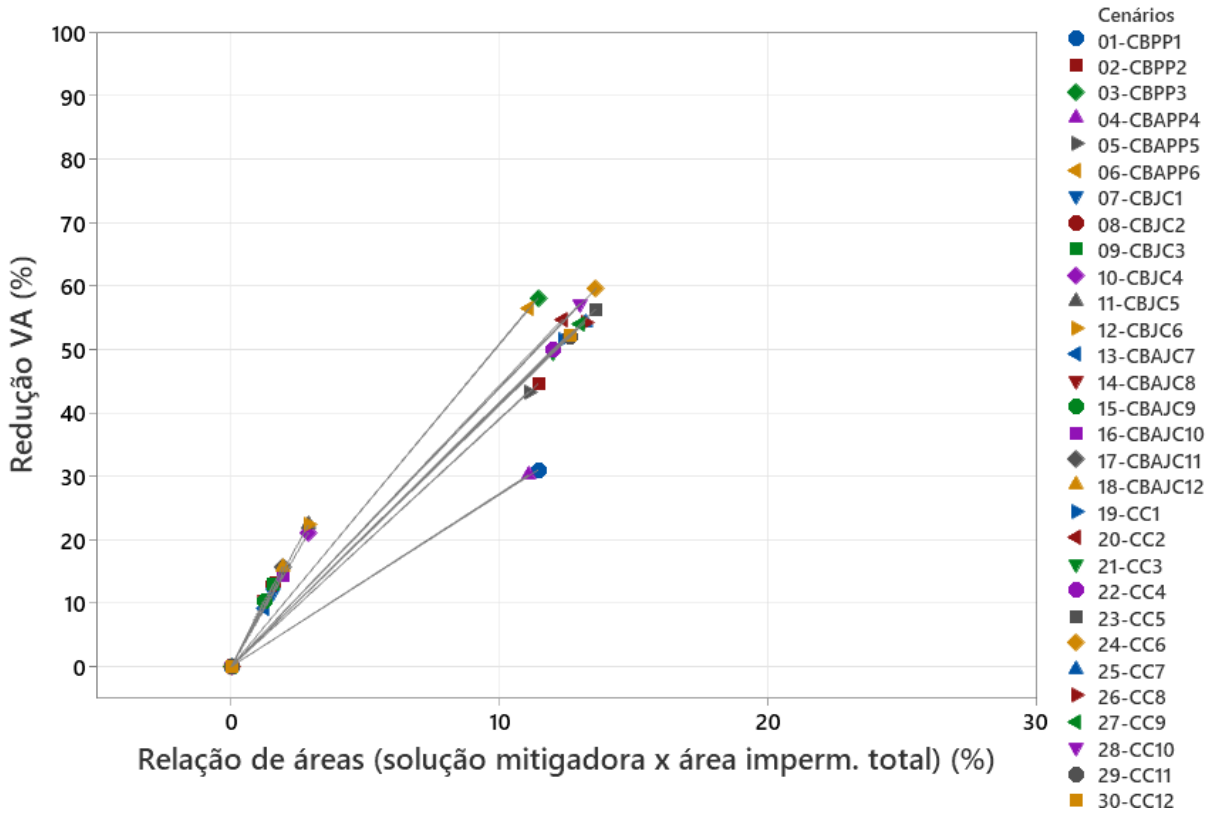


Tabela 71. Ranking 02 para VP e TR 2 anos

Cenário	Eficiência VP	Média da eficiência	Área da solução mitigadora (m²)	% da área da solução com área imp. Total	% Redução
CBPP3	8,05	7,86	3113,43	11,42	91,89
CBAPP6	7,66		3013,43	11,06	84,77
CC2	5,63	5,50	3365,43	12,35	69,50
CC10	5,62		3365,43	12,99	72,97
CC6	5,58		3365,43	13,58	75,80
CC8	5,47		3265,43	13,18	72,13
CC12	5,47		3265,43	12,60	68,90
CC4	5,40		3265,43	11,98	64,65
CC5	5,35		3365,43	13,58	72,72
CC9	5,32	5,24	3365,43	12,99	69,11
CC7	5,30		3265,43	13,18	69,81
CC1	5,26		3365,43	12,35	64,99
CC11	5,22		3265,43	12,60	65,81
CC3	5,12		3265,43	11,98	61,29
CBPP2	4,58	4,54	3113,43	11,42	52,25
CBAPP5	4,50		3013,43	11,06	49,81
CBJC4	3,99	3,88	854,00	2,87	11,45
CBJC5	3,99		854,00	2,87	11,45
CBJC6	3,99		854,00	2,87	11,45
CBAJC10	3,77		574,00	1,92	7,23
CBAJC11	3,77		574,00	1,92	7,23
CBAJC12	3,77		574,00	1,92	7,23
CBJC1	3,49	3,38	467,00	1,55	5,41
CBJC2	3,49		467,00	1,55	5,41
CBJC3	3,49		467,00	1,55	5,41
CBAJC7	3,28		367,00	1,22	4,00
CBAJC8	3,28		367,00	1,22	4,00
CBAJC9	3,28		367,00	1,22	4,00
CBAPP4	2,07	2,05	3013,43	11,06	22,84
CBPP1	2,03		3113,43	11,42	23,17

Figura 68. Dendrograma de agrupamento - Ranking 02 - VP - TR 2 anos

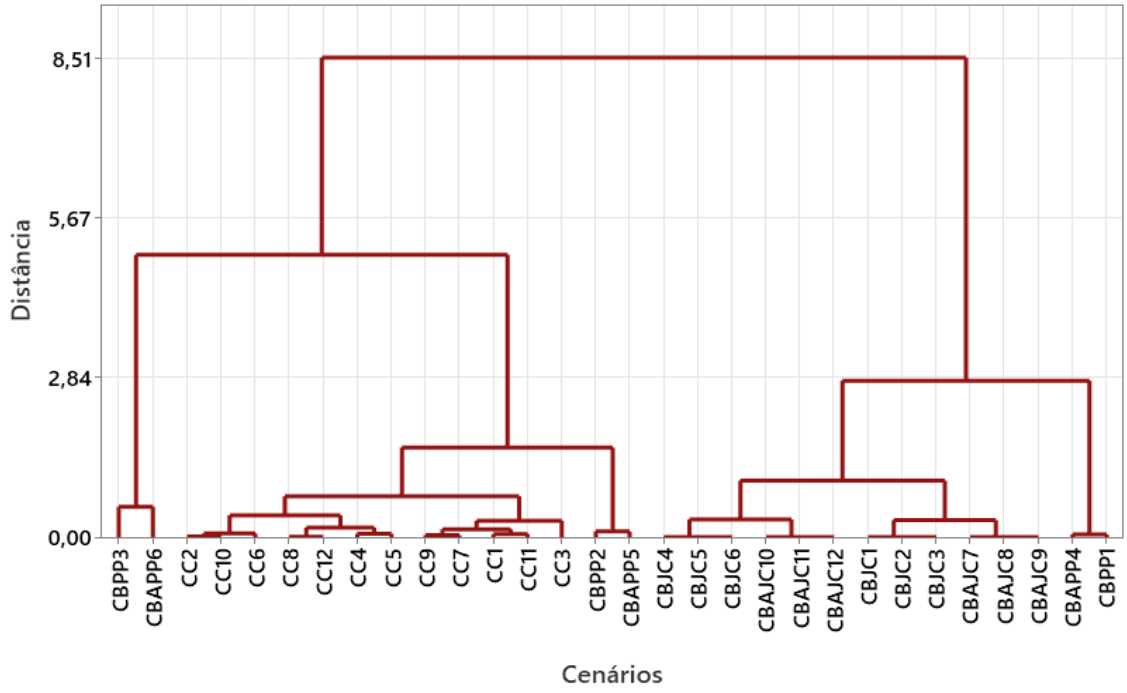


Tabela 72. Ranking 02 para VP e TR 10 anos

Cenário	Eficiência VP	Média da eficiência	Área da solução mitigadora (m²)	% da área da solução com área imp. Total	% Redução
CBPP3	4,34	4,24	3113,43	11,42	49,57
CBAPP6	4,25		3013,43	11,06	46,99
CC6	4,14		3365,43	13,58	56,17
CC10	3,95	3,88	3365,43	12,99	51,37
CC2	3,86		3365,43	12,35	47,68
CC8	3,82		3265,43	13,18	50,34
CC5	3,67	3,67	3365,43	13,58	49,83
CC12	3,66		3265,43	12,60	46,13
CC4	3,56	3,51	3265,43	11,98	42,61
CC9	3,51		3365,43	12,99	45,63
CC7	3,45		3265,43	13,18	45,53
CC11	3,25	3,21	3265,43	12,60	40,98
CC1	3,24		3365,43	12,35	40,05
CC3	3,13		3265,43	11,98	37,54
CBJC4	2,54	2,50	854,00	2,87	7,29
CBJC5	2,54		854,00	2,87	7,29
CBJC6	2,54		854,00	2,87	7,29
CBAJC10	2,46		574,00	1,92	4,73
CBAJC11	2,46		574,00	1,92	4,73
CBAJC12	2,46		574,00	1,92	4,73
CBPP2	2,34	2,32	3113,43	11,42	26,76
CBAPP5	2,30		3013,43	11,06	25,43
CBJC1	2,21	2,21	467,00	1,55	3,43
CBJC2	2,21		467,00	1,55	3,43
CBJC3	2,21		467,00	1,55	3,43
CBAJC7	2,11	2,11	367,00	1,22	2,58
CBAJC8	2,11		367,00	1,22	2,58
CBAJC9	2,11		367,00	1,22	2,58
CBAPP4	1,03	1,02	3013,43	11,06	11,43
CBPP1	1,01		3113,43	11,42	11,49

Figura 69. Dendrograma de agrupamento - Ranking 02 - VP - TR 10 anos

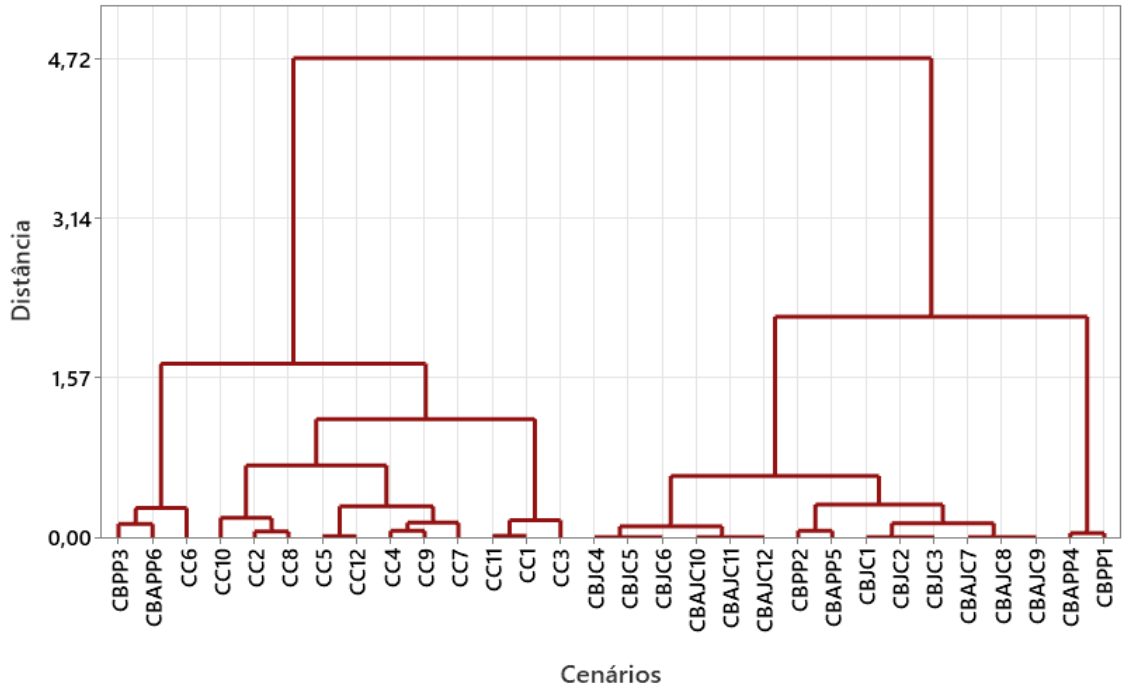


Tabela 73. Ranking 02 para VP e TR 25 anos

Cenário	Eficiência VP	Média da eficiência	Área da solução mitigadora (m²)	% da área da solução com área imp. Total	% Redução
CC6	3,42	3,31	3365,43	13,58	46,45
CC10	3,29		3365,43	12,99	42,73
CC2	3,22		3365,43	12,35	39,77
CBPP3	2,87	2,78	3113,43	11,42	32,74
CC5	2,84		3365,43	13,58	38,59
CC8	2,77		3265,43	13,18	36,55
CBAPP6	2,77		3013,43	11,06	30,62
CC7	2,76		3265,43	13,18	36,34
CC9	2,67		3365,43	12,99	34,73
CC1	2,50	2,40	3365,43	12,35	30,88
CC12	2,50		3265,43	12,60	31,45
CC11	2,48		3265,43	12,60	31,31
CC4	2,28		3265,43	11,98	27,31
CC3	2,24		3265,43	11,98	26,83
CBJC4	1,97	1,95	854,00	2,87	5,65
CBJC5	1,97		854,00	2,87	5,65
CBJC6	1,97		854,00	2,87	5,65
CBAJC10	1,94		574,00	1,92	3,72
CBAJC11	1,94		574,00	1,92	3,72
CBAJC12	1,94		574,00	1,92	3,72
CBJC1	1,74	1,72	467,00	1,55	2,69
CBJC2	1,74		467,00	1,55	2,69
CBJC3	1,74		467,00	1,55	2,69
CBAJC7	1,70		367,00	1,22	2,07
CBAJC8	1,70		367,00	1,22	2,07
CBAJC9	1,70		367,00	1,22	2,07
CBAPP5	1,37	1,35	3013,43	11,06	15,10
CBPP2	1,33		3113,43	11,42	15,16
CBAPP4	0,82	0,80	3013,43	11,06	9,03
CBPP1	0,78		3113,43	11,42	8,96

Figura 70. Dendrograma de agrupamento - Ranking 02 - VP - TR 25 anos

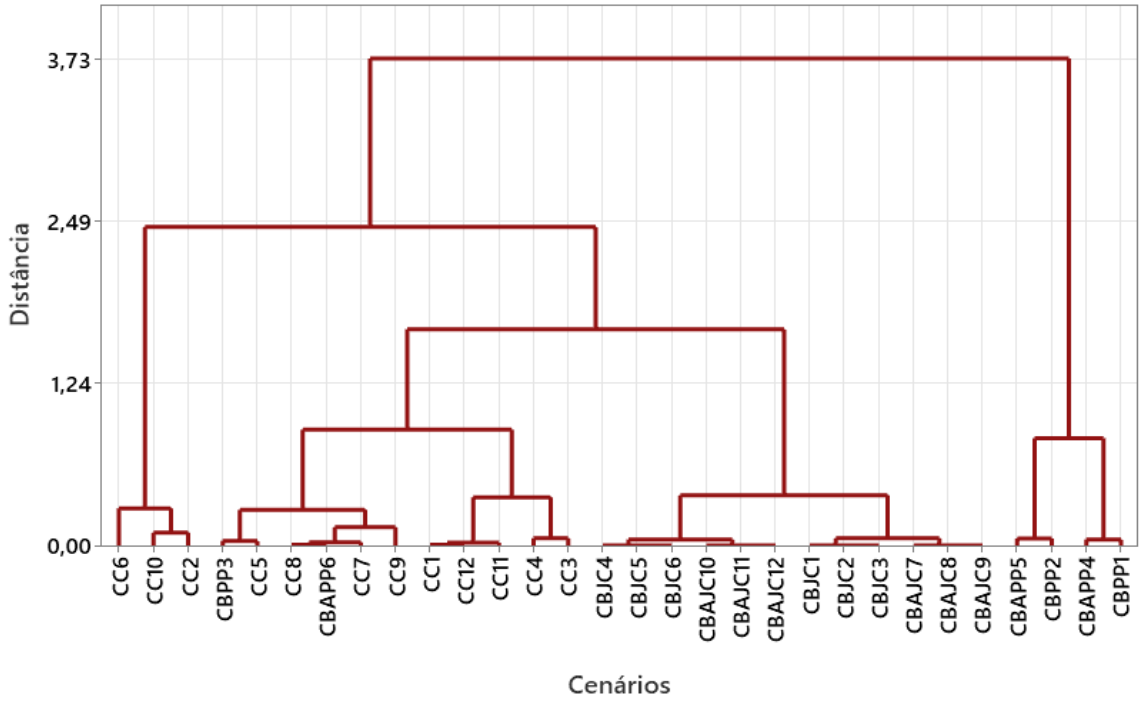


Tabela 74. Ranking 02 para VA e TR 2 anos

Cenário	Eficiência VP	Média da eficiência	Área da solução mitigadora (m²)	% da área da solução com área imp. Total	% Redução
CBAJC8	14,17	14,17	367,00	1,22	17,29
CBAJC9	14,17		367,00	1,22	17,29
CBJC2	13,84	13,68	467,00	1,55	21,45
CBJC3	13,84		467,00	1,55	21,45
CBAJC11	13,53		574,00	1,92	25,97
CBAJC12	13,53		574,00	1,92	25,97
CBJC5	12,81	12,69	854,00	2,87	36,77
CBJC6	12,81		854,00	2,87	36,77
CBAJC7	12,70		367,00	1,22	15,49
CBJC1	12,68		467,00	1,55	19,66
CBAJC10	12,67		574,00	1,92	24,33
CBJC4	12,45		854,00	2,87	35,72
CBAPP6	8,58	8,57	3013,43	11,06	94,91
CBPP3	8,56		3113,43	11,42	97,76
CC2	6,84	6,74	3365,43	12,35	84,45
CC4	6,83		3265,43	11,98	81,81
CC12	6,71		3265,43	12,60	84,51
CC10	6,69		3365,43	12,99	86,92
CC1	6,68		3365,43	12,35	82,51
CC3	6,67		3265,43	11,98	79,87
CC8	6,60	6,54	3265,43	13,18	87,05
CC6	6,57		3365,43	13,58	89,24
CC11	6,57		3265,43	12,60	82,78
CC9	6,57		3365,43	12,99	85,28
CBAPP5	6,54		3013,43	11,06	72,38
CBPP2	6,52		3113,43	11,42	74,44
CC7	6,49		3265,43	13,18	85,55
CC5	6,48		3365,43	13,58	87,97
CBAPP4	4,50	4,49	3013,43	11,06	49,78
CBPP1	4,48		3113,43	11,42	51,19

Figura 71. Dendrograma de agrupamento - Ranking 02 - VA - TR 2 anos

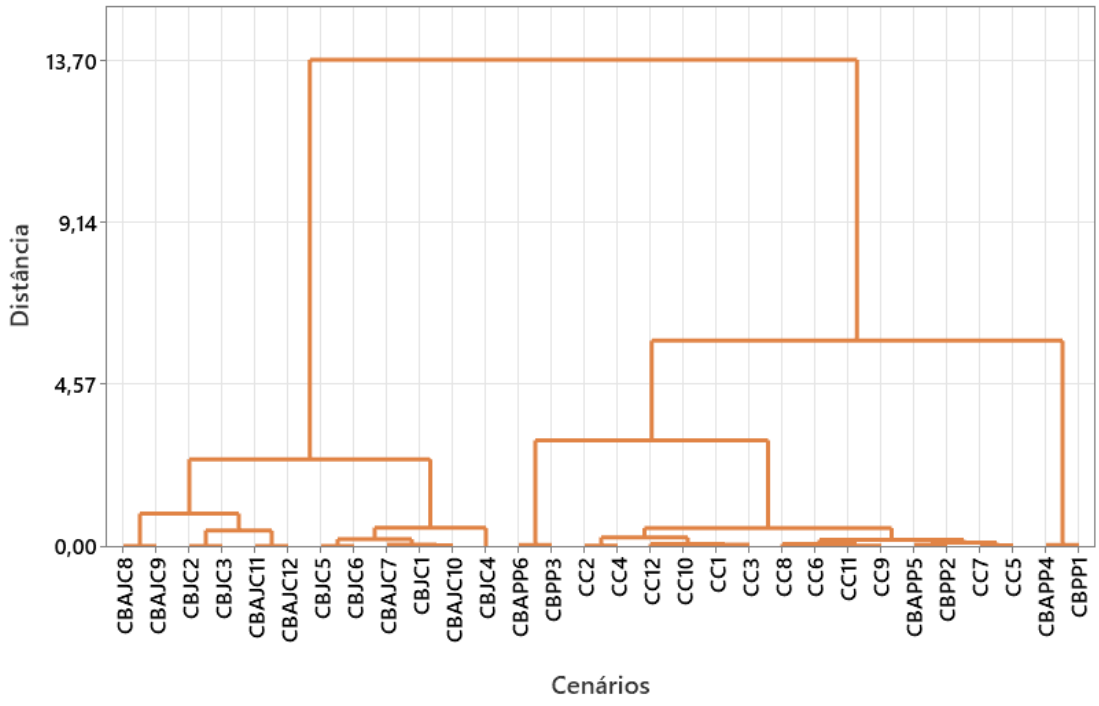


Tabela 75. Ranking 02 para VA e TR 10 anos

Cenário	Eficiência VP	Média da eficiência	Área da solução mitigadora (m²)	% da área da solução com área imp. Total	% Redução
CBAJC8	10,25	10,25	367,00	1,22	12,51
CBAJC9	10,25		367,00	1,22	12,51
CBJC2	10,01	9,91	467,00	1,55	15,51
CBJC3	10,01		467,00	1,55	15,51
CBAJC11	9,81		574,00	1,92	18,84
CBAJC12	9,81		574,00	1,92	18,84
CBJC5	9,30	9,09	854,00	2,87	26,69
CBJC6	9,30		854,00	2,87	26,69
CBAJC7	9,04		367,00	1,22	11,03
CBAJC10	9,02		574,00	1,92	17,31
CBJC1	9,02		467,00	1,55	13,98
CBJC4	8,86		854,00	2,87	25,42
CBAPP6	6,15	6,13	3013,43	11,06	67,97
CBPP3	6,12		3113,43	11,42	69,94
CC2	5,31	5,26	3365,43	12,35	65,61
CC10	5,25		3365,43	12,99	68,25
CC6	5,22		3365,43	13,58	70,89
CC4	5,13	5,10	3265,43	11,98	61,48
CC12	5,09		3265,43	12,60	64,17
CC8	5,07		3265,43	13,18	66,81
CC1	5,00	4,95	3365,43	12,35	61,81
CC9	4,97		3365,43	12,99	64,50
CC3	4,96		3265,43	11,98	59,37
CC5	4,94		3365,43	13,58	67,14
CC11	4,93		3265,43	12,60	62,06
CC7	4,91		3265,43	13,18	64,70
CBAPP5	4,70	4,70	3013,43	11,06	52,03
CBPP2	4,69		3113,43	11,42	53,53
CBAPP4	3,27	3,26	3013,43	11,06	36,15
CBPP1	3,25		3113,43	11,42	37,13

Figura 72. Dendrograma de agrupamento - Ranking 02 - VA - TR 10 anos

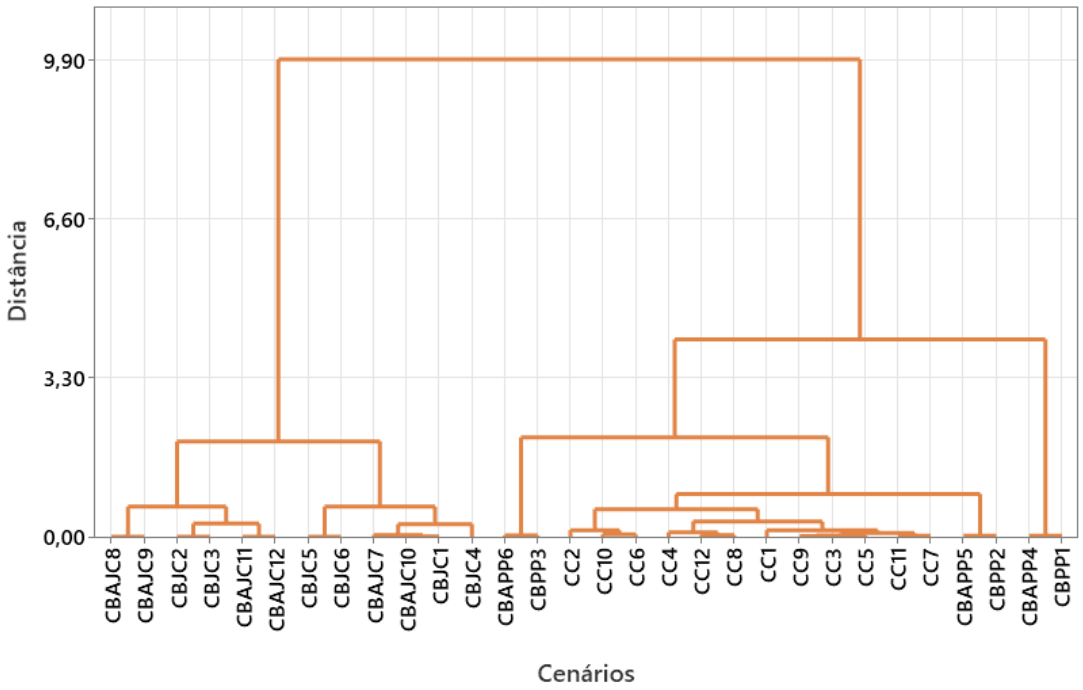
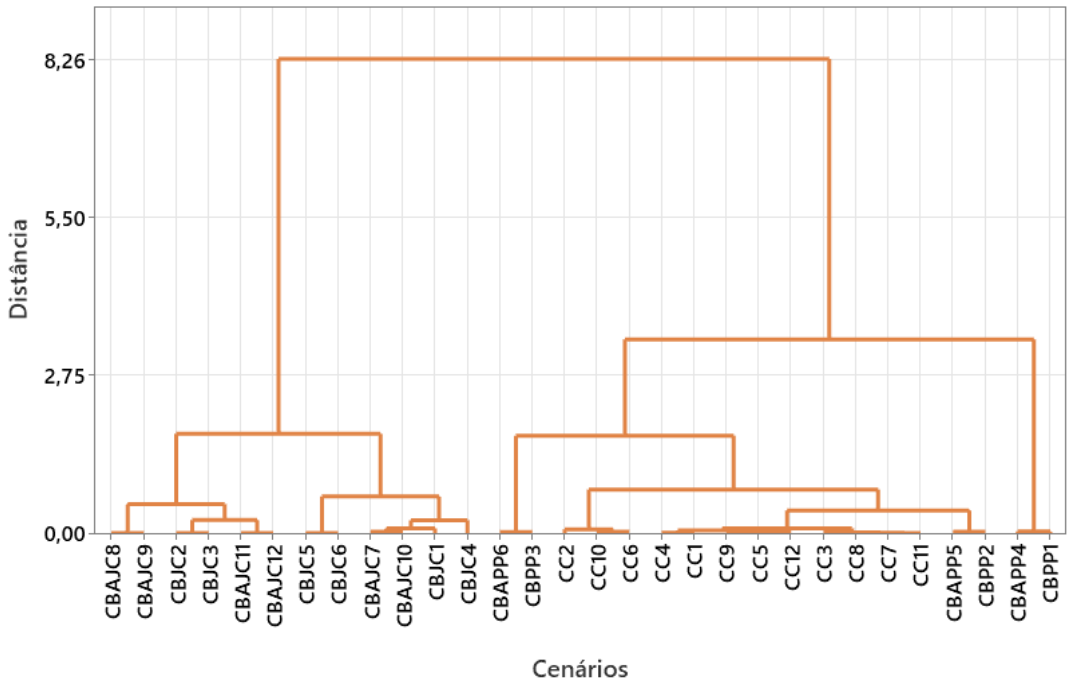


Tabela 76. Ranking 02 para VA e TR 25 anos

Cenário	Eficiência VP	Média da eficiência	Área da solução mitigadora (m²)	% da área da solução com área imp. Total	% Redução
CBAJC8	8,55	8,55	367,00	1,22	10,43
CBAJC9	8,55		367,00	1,22	10,43
CBJC2	8,35	8,27	467,00	1,55	12,95
CBJC3	8,35		467,00	1,55	12,95
CBAJC11	8,19		574,00	1,92	15,73
CBAJC12	8,19		574,00	1,92	15,73
CBJC5	7,78	7,54	854,00	2,87	22,33
CBJC6	7,78		854,00	2,87	22,33
CBAJC7	7,48		367,00	1,22	9,13
CBAJC10	7,47		574,00	1,92	14,34
CBJC1	7,43		467,00	1,55	11,51
CBJC4	7,33		854,00	2,87	21,03
CBAPP6	5,10	5,09	3013,43	11,06	56,37
CBPP3	5,08		3113,43	11,42	58,04
CC2	4,44	4,14	3365,43	12,35	54,78
CC10	4,40		3365,43	12,99	57,21
CC6	4,39		3365,43	13,58	59,60
CC4	4,18	4,14	3265,43	11,98	50,02
CC1	4,17		3365,43	12,35	51,52
CC9	4,15		3365,43	12,99	53,95
CC5	4,15		3365,43	13,58	56,34
CC12	4,14		3265,43	12,60	52,19
CC3	4,13		3265,43	11,98	49,46
CC8	4,12		3265,43	13,18	54,32
CC7	4,12		3265,43	13,18	54,28
CC11	4,12		3265,43	12,60	51,89
CBAPP5	3,91	3,91	3013,43	11,06	43,29
CBPP2	3,90		3113,43	11,42	44,53
CBAPP4	2,73	2,72	3013,43	11,06	30,20
CBPP1	2,71		3113,43	11,42	30,97

Figura 73. Dendrograma de agrupamento - Ranking 02 - VA - TR 25 anos



Os resultados apresentados no ranking 02 foram similares ao ranking 01 onde, para VP (**Tabela 71** a **Tabela 73**), observa-se que para TR 2 e TR 10 as soluções com pavimento permeável que possuem maior espessura na camada de armazenamento (CBPP3 e CBAPP6) apresentam maior eficiência estando em um agrupamento isolado das demais. Em seguida temos todos os cenários combinados (CC1 a CC12) que se agrupam com eficiências próximas.

Para os demais cenários com pavimento permeável de menor espessura da camada (CBPP2, CBAPP5, CBAPP4 e CBPP1) em conjunto com os cenários de jardim de chuva verifica-se menores eficiências, não recebendo destaque neste ranking como ocorrido no ranking 01.

Para os TR de 25 anos nota-se rankings similares, onde as soluções com PP e CC apresentam melhores eficiências e os cenários JC com pior eficiência para VP, porém com destaque para os cenários combinados CC6, CC10 e CC2 e algumas trocas de posição na classificação dos cenários. Nota-se também que a diferença entre as eficiências diminui e os agrupamentos tornam-se mais próximos, demonstrando similaridade na resposta das simulações para chuvas mais expressivas tanto para TR 10 quanto 25.

Os cenários CBAPP4 e CBPP1 novamente apresentam-se isolados negativamente para todos os TRs, reforçando as conclusões sobre cenários PP com camadas de armazenamento menos expressivas não sendo indicados para redução de VP.

Para a análise de VA (**Tabela 74** a **Tabela 76**) temos novamente uma inversão nas eficiências para os três TRs simulados onde os cenários com jardim de chuva nas suas diversas combinações mostram-se mais eficientes. O agrupamento também ficou muito próximo demonstrando similaridade de eficiência nestes cenários com jardim de chuva tanto para situações com maior ou menor profundidade da camada de armazenamento, reforçando as observações já apresentadas no ranking 01.

Para os demais cenários PP e CC os resultados são menos expressivos com menores eficiências. Novamente os cenários CBAPP4 e CBPP1 apresentam-se isolados negativamente.

Essa inversão de cenários para eficiência de VA demonstra que as camadas superiores dos jardins de chuva auxiliam na redução de VA pois representam maiores eficiências. A similaridade de resultados nos rankings 01 e 02 eram esperadas e demonstram a possibilidade de estimativas para estudos posteriores considerando-se

o percentual de área de utilização das soluções mitigadoras tanto em função da área disponível no recorte quanto proporcionalmente a área total impermeável da bacia total de estudo.

5.8 Análises comparativas com estudos similares – estado da arte

Em análises ao estudo de Kim et al. (2018) e Ferrans et al. (2023) compreendemos que o resultado de redução de vazão de pico e volume acumulado pode variar muito em função das características hidrológicas e que, para chuvas de menor intensidade as soluções mitigadoras possuem grande eficiência, mas conforme a precipitação é elevada o resultado é inverso. Tal conclusão se confirmou nesta pesquisa com a análise dos resultados para diferentes parâmetros hidrológicos utilizados nas modelagens.

Os resultados obtidos por Tejadas et al. (2019) variaram em torno de 10% tanto para VP quanto para VA sendo aplicadas em 39% da área total da bacia para uma chuva de 2 horas e TR de 5 anos em um local altamente urbanizado. Tal resultado é inferior aos resultados encontrados nesta pesquisa o que se explica devido a grande quantidade de variáveis consideradas nesta solução como coeficientes dos materiais utilizados, profundidade de acumulação, coeficiente de infiltração, índice pluviométrico, entre outros.

Silva et al. (2019) encontrou uma redução de 33,11% na vazão de pico para TR de 10 anos e duração de chuva de 2 horas estando próximo a redução encontrada nesta pesquisa para estas considerações hidrológicas onde foi obtido redução de VP de 26,76 % (cenário CBPP2 considerando TR 10, DC 60 min.). Novamente a diferença de resultados é explicada pela diferença das características hidrológicas bem como características das camadas do pavimento simulada, infiltração local e área de aplicação.

Os resultados encontrados por Arjenaki et al. (2021), estando entre 25% e 46% a depender da combinação das soluções e demais características reforça a importância da compreensão da variabilidade de resultados conforme os parâmetros e características do local são alteradas.

Suresh et al. (2023) concluiu em seu estudo que a solução com telhados verdes foi a solução com maior eficiência, tal resultado pode ser explicado devido a área residencial disponível para implantação da solução, bem como características da

solução. Novamente o autor reforça a importância de compreender que o desempenho de uma solução mitigadora varia com a disponibilidade de espaço, o local de implantação e características da bacia hidrográfica sendo necessário explorar diferentes soluções para atingir as metas de redução.

Boongaling et al. (2024) estudou as subbacias da Laguna de Bay, localizado nas Filipinas e através de modelagem com SWMM aplicou diferentes soluções mitigadoras para chuva com duração de 24 horas e períodos de retorno diversos (2, 10, 50 e 100 anos). O autor conclui que a utilização de soluções combinadas bem como as lagoas de detenção possem maior eficiência tanto na redução vazão de pico quanto no volume acumulado devido a capacidade de armazenamento do volume nas camadas de armazenamento presente nas soluções utilizadas. Esse fato é confirmado com os resultados desta pesquisa onde o cenário que apresenta a maior capacidade de armazenamento (CBPP3 e CBAPP6) demonstrou a maior eficiência para TRs 2 e 10 anos.

Boongaling et al. (2024) ressalta também que a comparação direta com outros estudos é muito difícil devido a diferenças dos tipos de soluções, escala, tamanhos e características do local e que também não existe um tipo ou combinação específica de solução mitigadora que pode ser considerada a melhor justamente pela eficiência depender das características do uso do solo e critérios de desempenho que a solução será avaliada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo utilizou o software PCSWMM para realização de simulações computacionais com objetivo de propor soluções mitigadoras aplicadas a montante em microbacias urbanas visando avaliar possíveis reduções de VP e VA. O local escolhido para o estudo foi um recorte urbano localizado no município de Jundiaí, devido ao seu posicionamento estratégico bem como suas características físicas.

Utilizando este recorte como cenário base, foram propostos cenários diversos, permitindo a análise da eficiência hidráulica baseada no percentual de redução de VP e VA para a chuva de projeto. Estas análises foram realizadas com a aplicação de diferentes soluções, parâmetros, áreas de ocupação das soluções dentro do recorte e combinação entre elas utilizando-se os resultados das modelagens realizadas no PCSWMM e posteriormente analisadas com utilização dos softwares Microsoft Excel e MiniTab.

As simulações iniciais realizadas para a situação atual permitiram obter as vazões de pico e volume acumulado iniciais a serem utilizados nas análises de redução sendo simulado para diferentes parâmetros hidrológicos. Estas variações nos parâmetros permitiram analisar as suas relações entre si, compreender sua sensibilidade e, através de análises estatísticas, foi possível traçar uma correlação entre os resultados e diferentes TRs e DCs para, posteriormente, reduzir a quantidade de variáveis a serem realizadas nos cenários seguintes.

A redução da quantidade de parâmetros foi possível pois as análises estatísticas demonstraram relações entre si e, manter parâmetros intermediários de TR e DC, tornaria as simulações redundantes. As análises de regressão realizadas permitiram a obtenção de equações para os diferentes parâmetros, sendo possível a estimativa de resultados de VP e VA para diferentes TRs e DCs. É importante ressaltar que estas equações são válidas para esta pesquisa exclusivamente, pois os resultados são dependentes de todas as características do local e parâmetros utilizados.

Esta conclusão demonstra que simulações iniciais para cenários base com diferentes parâmetros hidrológicos são úteis na obtenção de correlações, facilitando a estimativa de resultados para outros parâmetros de DC e TR. Esta estimativa deve ser aplicada com cautela, respeitando os limites dos valores simulados. No caso desta pesquisa, os TRs utilizados inicialmente foram 2, 5, 10 e 25 e mesmo com a exclusão

do TR 5, se regressões apresentaram resultados satisfatórios, indicando que é possível estimar valores dentro do intervalo de 2 a 25 anos. O mesmo se aplica às DCs, razão pela qual a pesquisa seguiu somente com DC de 60 minutos, porém podendo ser estimados resultados entre 10 e 120 minutos (limites da simulação inicial).

Também foram realizadas simulações com diferentes parâmetros de CN, organizados em três grupos. As análises estatísticas dos resultados demonstraram ausência de variação, indicando que em áreas urbanas, com predominância de áreas impermeáveis, a alteração dos parâmetros de CN não influenciam nos resultados. Isso ocorre porque as variações de CN aplicam-se somente às parcelas permeáveis da bacia. O método SCS atribui o valor padronizado de CN em 98 às áreas impermeáveis, portanto as médias ponderadas de CN para as bacias, mantém-se pouco alteradas não trazendo impactos no resultado. Em estudos técnicos de engenharia para áreas urbanas com bacias que possuem estas características deve-se considerar este importante aspecto na definição dos valores de CN.

Para os demais cenários inicialmente avaliou-se o impacto da modificação das áreas permeáveis dos lotes. Os resultados demonstraram eficiência hidráulica na redução para cenários com maiores áreas, porém não tão expressiva (próximo de 10% para VP e 6% para VA). Tal fato ocorre pois o simples aumento da área permeável contribui na redução, mas como não existe um armazenamento de volume escoado, o resultado não é tão significativo. De qualquer forma, tal postura mostra a importância da realização de políticas públicas que incentivem os cidadãos a respeitarem os percentuais mínimos de área permeável no interior dos lotes, podendo contribuir com a diminuição do escoamento para os sistemas públicos de drenagem.

Nas análises das soluções de lote também foram obtidas as regressões lineares e suas equações para cada TR (2, 10 e 25 anos), sendo possível desta forma, realizar a estimativa da redução de VP e VA considerando a relação entre a área permeável e a área total dos lotes. Estas estimativas também devem ser utilizadas com cautela pois são válidas somente para o recorte da pesquisa devido as características do modelo simulado.

Nas simulações dos cenários do viário é muito importante ressaltar que as soluções mitigadoras foram aplicadas somente no trecho do recorte principal, na Avenida Jundiaí. Obviamente o trecho possui contribuição de toda a microbacia, mas,

no restante das bacias (bacias 01 a 03) não foram consideradas implantações de soluções mitigadoras nestes cenários da escala do viário.

A primeira solução considerada foi a implantação de PP nos passeios do trecho de recorte. Não foi previsto a implantação de pavimento permeável no trecho das faixas de rolamento da avenida devido ao tráfego local e circulação de transporte público. A implantação desta solução em trechos com tráfego médio a alto não é recomendada.

Estes cenários apresentaram uma eficiência hidráulica significativa, demonstrando ser uma solução muito boa para este tipo de aplicação em passeios. Os resultados demonstraram reduções altas, chegando próximo de 100% para os cenários onde as estruturas consideradas possuíam alta capacidade de armazenamento de fluxo (maiores espessuras da camada granular) combinada com chuva de TRs menores. Nos cenários com utilização de arborização urbana (cenários CBAPP) nota-se uma ligeira redução na eficiência devido a diminuição da área de implantação da solução mitigadora, porém, deve-se analisar estes cenários de uma forma mais ampla considerando também o benefício da arborização urbana frente a leve redução da eficiência hidráulica encontrada.

Como as modelagens simularam 3 (três) espessuras diferentes da camada de armazenamento, ficou nítido que o aumento da espessura da camada de armazenamento traz um aumento muito expressivo da eficiência da solução, evidenciando a importância de implantar camadas de armazenamento na implantação de PPs em projetos de engenharia. Obviamente, a capacidade de infiltração do solo também influi nestas reduções e a utilização de drenos subterrâneos para locais onde o solo local não possui capacidade de infiltração faz-se necessário durante a elaboração de projetos. Mesmo com o retorno do fluxo absorvido nos drenos, para os sistemas de drenagem urbana, ocorrerá uma retenção de fluxo, reduzindo desta forma a VP e a VA, porém essas reduções podem não ser tão significativas quando as encontradas nesta pesquisa que considera a infiltração total do fluxo no solo local.

Dentre os benefícios da utilização de pavimentos permeáveis, vale ressaltar que a sua utilização permite a circulação de pedestres no local, não trazendo restrição de acesso, porém, em projetos de engenharia, é importante que sua implantação seja estudada de forma que receba o fluxo diretamente sobre sua estrutura através da implantação de dispositivos de drenagem superficial para captação e condução do fluxo, permitindo essa concentração sobre o pavimento. Também é muito importante

ressaltar a necessidade de planos de manutenção periódica nestas estruturas, visando garantir sua capacidade de infiltração.

A outra solução simulada foram os jardins de chuva nos passeios. O modelo considerado fez a aplicação de jardins de chuva com diferentes características tanto com relação à área ocupada quanto com relação a camada de armazenamento.

Como o jardim de chuva é uma estrutura que ocupa o espaço onde é implantada e não permite a circulação sobre ele, foi realizado um estudo aprofundado sobre as áreas que permitem a sua implantação no recorte, desconsiderando entrada de imóveis, paradas de ônibus e dimensões mínimas de circulação nos passeios. Esta análise mostra-se de extrema importância pois irá influenciar nos resultados obtidos.

Na presente pesquisa a implantação de JCs apresentaram bons resultados, principalmente para os cenários onde a estrutura de armazenamento foi mais expressiva. Outro ponto importante dos JCs é que a camada superior, onde o fluxo fica em contato com as vegetações, também funciona como camada de retenção melhorando muito sua eficiência para redução de VA. Já com relação a camada de substrato onde as vegetações são plantadas, faz-se necessário análises criteriosas com relação aos parâmetros de infiltração pois estes podem influenciar nos resultados não permitindo a passagem do fluxo para a camada de armazenamento.

Na elaboração de projetos de engenharia que utilizem jardins de chuva, na ausência de parâmetros seguros sobre as camadas, principalmente na camada de substrato, recomenda-se a consideração da estrutura somente como uma estrutura de armazenamento pela camada superior pois, desta forma, teremos o benefício da acumulação do fluxo, da filtragem da poluição difusa pelas vegetações e eventuais infiltrações que ocorrerem, serão um benefício extra para o projeto realizado com esta solução.

Como ocorrido nos cenários com PP, nos cenários JC com utilização de arborização urbana (cenários CBAJC) nota-se uma redução na eficiência devido a diminuição da área de implantação da solução mitigadora, porém, novamente deve-se analisar estes cenários de uma forma mais ampla considerando também o benefício da arborização urbana frente a redução da eficiência hidráulica encontrada.

A utilização de jardins de chuva precisa ser analisada sobre um olhar mais holístico pois possui diversos benefícios por integrar elementos verdes na paisagem, auxiliando na redução das ilhas de calor, auxiliando no combate à poluição difusa,

entre outros, mas, por outro lado, restringe o acesso ao espaço impedindo a livre circulação, entrada de garagens, acesso à comércios, etc.

Da mesma forma que na implantação de PP, os JCs necessitam de planos de manutenção rigorosos para acompanhamento do desenvolvimento das espécies, podas e limpeza em geral. É imprescindível que na implantação destas estruturas sejam realizadas campanhas de conscientização da população bem como a utilização de identidade visual de fácil compreensão para que seja facilitado entendimento da população sobre o jardim implantado e sua importância. É importante também ressaltar a necessidade de utilização de materiais granulares provenientes de programas de reciclagem não sendo necessário a exploração de jazidas para obtenção de materiais granulares e desta forma auxiliar ainda mais na redução do impacto ao meio ambiente.

Para os cenários combinados os resultados foram muito satisfatórios devido obviamente a combinação das soluções, representando assim maiores áreas de implantação e maiores possibilidades de armazenamento. A combinação de PP, JC e área permeável no interior dos lotes traz reduções muito significativas além de todos os benefícios individuais de cada solução.

A criação dos rankings 01 e 02 permitiu avaliar a relação entre a área da implantação da solução com a área disponível e com a área impermeável total da bacia. Essa correlação evidenciou a eficiência das soluções de forma direta podendo auxiliar na definição da estratégia mais adequada em projetos de engenharia e programas de planejamento urbano.

O agrupamento realizado nos rankings, mostrou que muitas soluções apresentam eficiências hidráulicas semelhantes, reforçando a necessidade de uma análise mais ampla na escolha da melhor alternativa. Isso destaca a necessidade da atuação de equipes multidisciplinares em projetos de manejo de águas pluviais avaliando benefícios ambientais, conforto climático, mobilidade e acessibilidade nos meios urbanos.

Em ambos os rankings elaborados os cenários com PP e CC se destacaram com relação a redução da VP, devido à maior capacidade de armazenamento e infiltração direta. Por outro lado, os cenários com JC apresentaram melhores resultados para redução de VA. Essa diferença está associada às características físicas de cada solução: nos cenários com PP, temos a infiltração direta ocorrendo pela superfície do pavimento e se acumulando em seguida na camada granular, por

fim infiltrando no solo imediatamente, reduzindo assim a VP de forma significativa. Para JCs temos uma camada superior de armazenamento direto (camada livre) o que ajuda na redução de VA, porém a camada seguinte de substrato onde ocorrem o plantio, atrasa a infiltração para a última camada (camada granular de armazenamento) dificultando a infiltração direta no subsolo em curto espaço de tempo, obviamente isso ocorre devido aos parâmetros utilizados na camada do substrato.

O tempo de permanência do volume no interior da estrutura depende das características da chuva e modelo de discretização utilizado. Esse armazenamento superior nos JCs e tempo de infiltração não foi suficiente para reduzir a VP de forma mais expressiva como no caso dos PP que, além da capacidade de armazenamento dos fluxos, possui maior capacidade de infiltração pois não possui uma camada de "solo/substrato" antes da camada de material granular. No entanto, os JCs apresentaram excelente eficiência na redução do VA justamente pelo acúmulo de fluxo na camada superior.

Dentre os cenários avaliados ficou evidente a importância da manutenção de espaços permeáveis no interior dos lotes além da possibilidade de implantação de soluções mitigadoras na escala do viário, evidenciando a necessidade de estudos integrados de manejo de águas pluviais que englobem tanto soluções na escala de lote, quanto soluções na escala do viário. A pesquisa evidenciou que soluções que promovem o armazenamento de volumes em suas camadas inferiores são fundamentais, pois permitem que, além da infiltração do fluxo no solo local, o volume total fique retido ajudando na diminuição da vazão de pico e volume acumulado total no exutório.

Com base nas considerações apresentadas para os cenários estudados, apresenta-se a seguir sugestões de trabalhos futuros que podem ser realizados a fim de avaliar a eficiência de soluções mitigadoras em áreas urbanas:

- Realização de estudos similares que utilizem a mesma metodologia desta pesquisa em outras microbacias urbanas;
- Realização de estudos similares que utilizem outros métodos de infiltração para comparação da eficiência como método Green Ampt por exemplo;
- Realização de estudos similares com variação de parâmetros de infiltração e parâmetros das camadas constituintes das soluções avaliando-se a sensibilidade de resultados;

- Realização de estudos similares que utilizem outros tipos de soluções mitigadoras tanto na escala de lote quanto do viário, como telhados verdes, cisternas, valas de infiltração ou poços de infiltração;
- Realização de estudos similares que avaliem também o impacto no conforto térmico e combate a presença de ilhas de calor urbano na região onde as soluções são inseridas;
- Realização de estudos similares que relacionem também parâmetros como custo e manutenção para definição do rankeamento elaborado.

É importante ressaltar que os resultados apresentados nesta pesquisa foram obtidos com base nas características do recorte, parâmetros hidrológicos e parâmetros das soluções simuladas. Em estudos de manejo de águas pluviais é importante que as características da área de estudo sejam avaliadas individualmente e, de posse de uma metodologia definida, possam ser simuladas obtendo-se assim os resultados específicos para cada área de estudo.

O presente estudo confirmou a hipótese sobre a eficiência hidráulica de soluções mitigadoras quando aplicadas de forma isolada e descentralizada em microbacias urbanas para trechos localizados próximo ao ponto alto da bacia. Os resultados revelaram que a soluções baseadas na natureza são, de fato, eficazes, mas sua aplicação deve ser estudada de forma integrada em toda a bacia, com critérios específicos para cada local.

Isso reforça a importância de estudos de planejamento específicos para áreas urbanas que apresentem ou não problemas de alagamento. Com estudos aprofundados e bom planejamento, o uso das soluções baseadas na natureza como opção de mitigação dos problemas da urbanização e alterações climáticas, pode atender simultaneamente demandas hidráulicas auxiliando na regeneração do ciclo hidrológico urbano, bem como contribuir com melhoras na paisagem, conforto climático, mobilidade e uso de espaços públicos trazendo mais qualidade de vida à população.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 16416/2015 - Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos**. [*S. l.: s. n.*], 2015.

ACI, American Concrete Institute. **Report on Pervious Concrete - ACI522R-10**. Michigan, EUA: [*s. n.*], 2010.

ALVES, Luciana Sobis; BUENO, Ayrton Portilho. Apropriação informal em vazios urbanos periféricos: uma investigação na cidade de Erechim-RS. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [*s. l.*], v. 14, 2022.

ARJENAKI, Majid Omidi *et al.* Modeling and investigating the effect of the LID methods on collection network of urban runoff using the SWMM model (case study: Shahrekord City). **Modeling Earth Systems and Environment**, [*s. l.*], v. 7, n. 1, p. 1–16, 2021.

BĄK, Joanna; BARJENBRUCH, Matthias. Benefits, Inconveniences, and Facilities of the Application of Rain Gardens in Urban Spaces from the Perspective of Climate Change—A Review. **Water**, [*s. l.*], v. 14, n. 7, p. 1153, 2022.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de concreto permeáveis: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. v. 1

BEN MESSAOUD, Khouloud *et al.* Spatial-Temporal Dynamics of Urban Green Spaces in Response to Rapid Urbanization and Urban Expansion in Tunis between 2000 and 2020. **Land**, [*s. l.*], v. 13, n. 1, 2024.

BEZERRA, Maria do Carmo De Lima *et al.* Simulação de técnicas de infraestrutura verde de drenagem urbana para captação do escoamento superficial. **Revista Tecnologia e Sociedade**, [*s. l.*], v. 16, n. 40, p. 1, 2020.

BOONGALING, Cheamson Garret K. *et al.* Assessment of low impact development (LID) strategies under different land uses in an urban sub-catchment in the Philippines. **Journal of Environmental Management**, [*s. l.*], v. 369, p. 122328, 2024.

BOTELHO, Daysa Carolina Mendes. Concreto permeável: Análise de desempenho voltada para pavimentação, a fim de combater inundações em centros urbanos. **Brazilian Journal of Development**, [*s. l.*], v. 6, n. 3, p. 16486–16506, 2020.

BURSZTA-ADAMIAK, Ewa *et al.* Rain garden hydrological performance – Responses to real rainfall events. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 887, p. 164153, 2023.

CAI, Bowen *et al.* The Evolution of urban agglomerations in China and how it deviates from Zipf's law. **Geo-spatial Information Science**, [*s. l.*], v. 27, n. 1, p. 38–48, 2024.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2015.

CASTAGNA, Guilherme; FERRAZ, Caio. **Guia prático de jardins de chuva para cidades**. São Paulo: [*s. n.*], 2023.

CHAPMAN, Cherona; HALL, Jim W. The potential for sustainable drainage systems (SuDS) in a regional urbanization project. **Frontiers in Sustainable Cities**, [*s. l.*], v. 4, 2022.

CHRISTO, Demetria C. **A GIS-SWMM System to Evaluate Low Impact Development (LID) Feature Effectiveness on UNO's Campus**. 2021. 114 f. - University of New Orleans, New Orleans, 2021.

CLIMATE DATA. **Temperaturas e precipitações médias, clima em Jundiaí. Disponível em https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/jundiai-749/#climate-graph. Acesso em 05 de Abril de 2024**. [*S. l.*], 2024.

CNM. **Balanço das chuvas no Rio Grande Sul aponta para R$ 12,2 bilhões em prejuízos financeiros**. [*S. l.*], 2024.

CNM. **Danos e prejuízos causados por desastres no Brasil entre 2013 e 2023**. Brasília: [*s. n.*], 2023.

CNN BRASIL. **RS tem previsão de chuva e frio; estado fica em alerta para possível agravamento das cheias. Disponível em: https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/rio-grande-do-sul-tem-previsao-de-mais-chuva-e-frio-para-o-fim-de-semana/. Acesso em: 18 mai. 2024**. [*S. l.*], 2024.

COHEN, Shacham E. *et al.* **Nature-based solutions to address global societal challenges**. [*S. l.*]: IUCN International Union for Conservation of Nature, 2016.

CORMIER, Nathaniel S.; PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. **Paisagem e Ambiente**, [*s. l.*], n. 25, p. 127, 2008.

COSTA, Regina Pacca. **Ciências do Ambiente**. 1. ed. [*S. l.*]: Oficina de Textos, 2021. v. 1

CPRM *et al.* **Atlas Pluviométrico do Brasil: Equações Intensidade-Duração-Frequência (Desagregação de Precipitações Diárias); Município: Várzea Paulista/SP**. Recife: CPRM, 2019. Disponível em: http://www.cprm.gov.br.

CUBIDES, Elkin; SANTOS, German. Control de escorrentías urbanas mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS): Pozos/Zanjas de infiltración. **Entre ciencia e ingeniería**, [*s. l.*], v. 12, n. 24, p. 32–42, 2018.

DANEGULU, Anusha *et al.* Characterizing urban flooding in the Kathmandu Valley, Nepal: the influence of urbanization and river encroachment. **Natural Hazards**, [*s. l.*], 2024.

DIAKAKIS, Michalis *et al.* How different surrounding environments influence the characteristics of flash flood-mortality: The case of the 2017 extreme flood in Mandra, Greece. **Journal of Flood Risk Management**, [*s. l.*], v. 13, n. 3, 2020.

DUARTE LOPES, Moana; BARBOSA LIMA DA SILVA, Gustavo. An efficient simulation-optimization approach based on genetic algorithms and hydrologic modeling to assist in identifying optimal low impact development designs. **Landscape and Urban Planning**, [*s. l.*], v. 216, p. 104251, 2021.

EMBRAPA. **Https://www.embrapa.br/solos**. [*S. l.*], 2024.

ESTADÃO. **Jardins de chuva: uma revolução verde que melhora a mobilidade nas grandes cidades**. [*S. l.*], 2024. Disponível em: https://mobilidade.estadao.com.br/mobilidade-para-que/jardins-de-chuva-uma-revolucao-verde-que-melhora-a-mobilidade-nas-grandes-cidades/. Acesso em: 16 fev. 2025.

FERRANS, Pascual *et al.* Flood Management with SUDS: A Simulation–Optimization Framework. **Water**, [*s. l.*], v. 15, n. 3, p. 426, 2023.

FERREIRA, Ximena Cardozo. **Inundações urbanas: gestão de riscos com foco na prevenção de danos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2019.

FILENI, Felipe de Mendonça; COSTA, Maria Elisa Leite; ALVES, Conceição de Maria Albuquerque. The application of LIDs in Savanna region for mitigation of flooded areas. **RBRH**, [*s. l.*], v. 24, 2019.

FRAGA, Raiza Gomes. **Soluções baseadas na natureza : elementos para a tradução do conceito às políticas públicas brasileiras**. 2021. 1–173 f. - Universidade de Brasilia, Brasilia, 2021.

GONDIM, Fabio; OHNUMA JÚNIOR, Alfredo Akira; OBRACZKA, Marcelo. JARDINS DE CHUVA: ATUALIZAÇÕES SOBRE A TÉCNICA A PARTIR DE UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. **MIX Sustentável**, [*s. l.*], v. 9, n. 5, p. 201–215, 2023.

GOV.BR. **Enchentes**. [*S. l.*], 2025. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/e/enchentes. Acesso em: 16 fev. 2025.

GUIMARÃES, Luciana Fernandes *et al.* O uso de infraestruturas verde e azul na revitalização urbana e na melhoria do manejo das águas pluviais. **Paisagem e Ambiente**, [*s. l.*], n. 42, p. 75–95, 2018.

HLUSHCHENKO, Roman *et al.* “Green structures” for effective rainwater management on roads. **Production Engineering Archives**, [*s. l.*], v. 28, n. 4, p. 295–299, 2022.

IBGE. **Cidades e estados, Jundiaí. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/jundiai.html. Acesso em: 5 de Maio de 2024.** . [*S. l.*], 2022.

JIANG, Albert Z.; MCBEAN, Edward A. Performance of lot-level low impact development technologies under historical and climate change scenarios. **Journal of Hydro-environment Research**, [*s. l.*], v. 38, p. 4–13, 2021.

JOSHI, Prabhat *et al.* Not all SuDS are created equal: Impact of different approaches on combined sewer overflows. **Water Research**, [*s. l.*], v. 191, p. 116780, 2021.

KAYKHOSRAVI, Sarah; KHAN, Usman T.; JADIDI, Mojgan A. A simplified geospatial model to rank LID solutions for urban runoff management. **Science of The Total Environment**, [*s. l.*], v. 831, p. 154937, 2022.

KIM, Jungho *et al.* Modeling the Runoff Reduction Effect of Low Impact Development Installations in an Industrial Area, South Korea. **Water**, [*s. l.*], v. 10, n. 8, p. 967, 2018.

KOURTIS, Ioannis M.; TSIHRINTZIS, Vassilios A.; BALTAS, Evangelos. A robust approach for comparing conventional and sustainable flood mitigation measures in urban basins. **Journal of Environmental Management**, [*s. l.*], v. 269, p. 110822, 2020.

LE FLOCH, Ninon *et al.* Catchment scale effects of low impact development implementation scenarios at different urbanization densities. **Journal of Hydrology**, [*s. l.*], v. 612, p. 128178, 2022.

LIMA, Silvia Maria Santana Andrade; LOPES, Wilza Gomes Reis; FAÇANHA, Antônio Cardoso. Desafios do planejamento urbano na expansão das cidades: entre planos e realidade. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [*s. l.*], v. 11, 2019.

MALAVIYA, Piyush; SHARMA, Rozi; SHARMA, Pradeep Kumar. Rain Gardens as Stormwater Management Tool. *In*: SUSTAINABLE GREEN TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. Singapore: Springer Singapore, 2019. p. 141–166.

NACTO, National Association of City Transportation Officials. **Global Street Design Guide**. New York: [*s. n.*], 2016.

NAZARPOUR, Shaahin; GNECCO, Ilaria; PALLA, Anna. **Evaluating the Effectiveness of Bioretention Cells for Urban Stormwater Management: A Systematic Review**. [*S. l.*]: MDPI, 2023.

NGCAMU, Bethuel Sibongiseni. Application of the disaster management cycle and climate change: Studying flood disasters in South Africa. **Social Sciences & Humanities Open**, [*s. l.*], v. 8, n. 1, p. 100657, 2023.

OKIMOTO, Fernando; SANTOS, Kliscia. Jardins de Chuva: Conceitos, Práticas e Desempenhos. **Estrabão**, [*s. l.*], v. 4, p. 125–136, 2023.

OLIVEIRA, Murillo Calixto Navarro; QUARESMA, Cristiano Capellani. Intervenções urbanas em áreas periféricas brasileiras: uma revisão sistemática de literatura. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [*s. l.*], v. 14, 2022.

PCJ; ENGENHARIA E AMBIENTE SA, Profill. **PLANO DIRETOR DE MACRODRENAGEM DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JUNDIAÍ**. Jundiaí: [*s. n.*], 2021.

PINHEIRO, Maitê Bueno *et al.* **Cartilha de infraestrutura verde para drenagem sustentável: Jardim de Chuva**. 1. ed. Salvador, BA: Prefeitura Municipal de Salvador, Secis, 2023. v. 1

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso básico de mecânica dos solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

PINTO, Nelson L. de Sousa *et al.* **Hidrologia Básica**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1976.

PMJ. **Prefeitura Municipal de Jundiaí. Disponível em: https://jundiai.sp.gov.br/. Acesso em 10 Abril de 2024.** [*S. l.*], 2024.

PORTO, Rubem La Laina. **Drenagem urbana**. Rio Grande do Sul: ABRH/UFRGS, 1995.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Jardins de chuva melhoram o escoamento das águas e trazem beleza para a capital paulista**. [*S. l.*], 2023.

RAFAEL, Renata Araujo *et al.* Estudo das implicações ambientais no município de João Pessoa-PB devido ao crescimento urbano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [*s. l.*], v. 8, n. 1, p. 286, 2013.

REU JUNQUEIRA, Juliana; SERRAO-NEUMANN, Silvia; WHITE, Iain. Using green infrastructure as a social equity approach to reduce flood risks and address climate change impacts: A comparison of performance between cities and towns. **Cities**, [*s. l.*], v. 131, p. 104051, 2022.

RODRIGUES, Gisele Carvalho; SANTINI JUNIOR, Mauricio Antonio. Avaliação do emprego de técnicas compensatórias na sub-bacia urbana Ribeirão do Santa Rita do município de Fernandópolis, São Paulo. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [*s. l.*], v. 26, n. 2, p. 231–237, 2021.

ROSENZWEIG, Bernice *et al.* NPCC4: Climate change and New York City's flood risk. **Annals of the New York Academy of Sciences**, [*s. l.*], 2024.

ROSSI, Marcio. **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado.** São Paulo: Instituto Florestal, 2017. v. 1

ROSSMAN, Lewis A. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1 - manual**. 1. ed. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, 2015.

RUANGPAN, Laddaporn *et al.* Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: a state-of-the-art review of the research area. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [*s. l.*], v. 20, n. 1, p. 243–270, 2020.

SALEM, Muhammad; TSURUSAKI, Naoki. Impacts of Rapid Urban Expansion on Peri-Urban Landscapes in the Global South: Insights from Landscape Metrics in Greater Cairo. **Sustainability (Switzerland)** , [*s. l.*], v. 16, n. 6, 2024.

SALUBI, Eunice A. *et al.* **Climate change and waterborne diseases in temperate regions: a systematic review**. [*S. l.*]: IWA Publishing, 2025.

SETZER, J; PORTO, R. L. L. **Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo.** 2. ed. São Paulo: Boletim Técnico do DAEE, 1979. v. 2

SILVA, Camila de Mello *et al.* AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS COM MEDIDAS DE CONTROLE DO ESCOAMENTO NO SISTEMA DE DRENAGEM EM UMA ÁREA URBANA. **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos** , [*s. l.*], 2019.

SMDU, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano; FCTH, Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica; PMSP, Prefeitura do Estado de São Paulo. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos**. 1. ed. São Paulo: SMDU, 2012. v. 2

STANGANINI, Fábio Noel; LOLLO, José Augusto de. O crescimento da área urbana da cidade de São Carlos/SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação ambiental. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [*s. l.*], v. 10, n. suppl 1, p. 118–128, 2018.

SUDERHSA. **Manual de Drenagem Urbana - Região Metropolitana de Curitiba - PR**. Curitiba, PR: [*s. n.*], 2002.

SURESH, Amrutha; PEKKAT, Sreeja; SUBBIAH, Senthilmurugan. Quantifying the efficacy of Low Impact Developments (LIDs) for flood reduction in micro-urban watersheds incorporating climate change. **Sustainable Cities and Society**, [*s. l.*], v. 95, p. 104601, 2023.

TARDIN, Raquel. **Análise, ordenação e projeto da paisagem: uma abordagem sistêmica.** . 1. ed. Rio de Janeiro: Rio Books, 2018.

TEJADAS, Bruno Espinosa; POSSANTTI, Iporã Brito; MARQUES, Guilherme. Simulação de tecnologias LID em lotes urbanos para controle de escoamento superficial. **XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, [*s. l.*], 2019.

TUCCI, Carlos E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. 1. ed. Rio Grande do Sul: Ministério das cidades, Unesco., 2005. v. 1

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 1993.

TZOULAS, Konstantinos *et al.* **Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review**. [*S. l.*]: Elsevier, 2007.

WU, Di *et al.* Characteristics of urban expansion in megacities and its impact on water-related ecosystem services: A comparative study of Chengdu and Wuhan, China. **Ecological Indicators**, [*s. l.*], v. 158, p. 111322, 2024.

YANG, Boyuan *et al.* Optimal designs of LID based on LID experiments and SWMM for a small-scale community in Tianjin, north China. **Journal of Environmental Management**, [*s. l.*], v. 334, p. 117442, 2023.

ZANANDREA, Franciele; SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Uso de técnicas de low impact development no controle de impactos hidrológicos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [*s. l.*], v. 24, n. 6, p. 1195–1208, 2019.

ZHANG, Xiaoyue *et al.* Two-scale optimal management of urban runoff by linking LIDs and landscape configuration. **Journal of Hydrology**, [*s. l.*], v. 620, p. 129332, 2023.