Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Marlon Giovanni Lopes Alvarez

Gestão Sustentável de Águas Pluviais no Parque Urbano Ary Barroso, Rio de Janeiro-RJ

Rio de Janeiro
2017

Marlon Giovanni Lopes Alvarez

Gestão Sustentável de Águas Pluviais no Parque Urbano Ary Barroso, Rio de Janeiro-RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientador: Prof° Alfredo Akira Ohnuma Jr.

Rio de Janeiro

2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

A473 Alvarez, Marlon Giovanni Lopes.
Gestão sustentável de águas pluviais no parque urbano Ary Barroso, Rio de Janeiro, RJ / Marlon Giovanni Lopes Alvarez. – 2017.
146f.

Orientador: Alfredo Akira Ohnuma Junior.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental - Teses. 2. Aguas pluviais - Teses. 3. Reaproveitamento - Teses. 4. Escoamento urbano - Teses. I. Ohnuma Junior, Alfredo Akira. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 628

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Marlon Giovanni Lopes Alvarez

Gestão Sustentável de Águas Pluviais no Parque Urbano Ary Barroso, Rio de Janeiro-RJ

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Saneamento Ambiental - Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovado em:

Banca Examinadora:

_____

Profº. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr. (Orientador)

Faculdade de Engenharia – UERJ

_____

Profº. Dr. Adacto Benedicto Ottoni

Faculdade de Engenharia – UERJ

_____

Profº. Dr. Paulo Luiz da Fonseca

Universidade Federal Fluminense – UFF / Fundação Rio-Águas

_____

Profº. Dr. Marcelo Obraczka

Faculdade de Engenharia – UERJ

Rio de Janeiro

2017

DEDICATÓRIA

A Deus.

Aos meus pais e à minha namorada.

A todos os familiares, amigos e professores.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Áurea e André, por todo amor, dedicação, apoio e confiança que deram e continuam dando a mim. Obrigado por tudo que já fizeram e continuam fazendo por mim. Vocês são os melhores pais do mundo.

À minha futura noiva, Dayana, por ter entrado na minha vida durante o mestrado. Obrigado por todo o amor, carinho e conselhos que tem me dado, além do auxílio fundamental na elaboração deste trabalho. Sem a sua ajuda, não conseguiria chegar ao final dessa jornada, meu amor. Obrigado também à sua família, que me acolheu tão bem, em especial aos seus pais, Dulce e Emanuel, seus avós Ângela e Manu(o)el e sua irmã e cunhado, Jéssica e Diogo. Também agradeço pela impressão das cópias entregues à banca, haha.

Ao meu orientador, Akira, por toda paciência e auxílio ao longo do meu TCC e desta dissertação. Obrigado por todos os conselhos e direções que me ajudaram a conseguir finalizar este trabalho, algo que eu cheguei a duvidar inúmeras vezes.

Aos meus afilhados Nicolas Ernani, Náthalie Augusta e Joaquim, por me fazerem mais responsável e alegrar um pouco mais os meus dias.

A todos da minha família, pelo apoio e carinho ao longo de todos esses anos. Em especial: à minha madrinha Glória, às minhas primas-irmãs Ana Cláudia e Karen, por todo amor e carinho ao longo desses anos; aos meus tios Valdir, Natalino e Jorge; aos primos e primas das famílias Lopes e da Silva; à minha tia mais nova, Catarine e seu marido Allan, juntamente com o Pedrinho e minha avó Terezinha; aos meus tios Félix e Elane, aos meus primos Ricardo, Ana Paula, Sandro e Tchelly, pelo carinho e acolhimento; aos meus tios Fernando e Sônia, ao meu primo e primeiro amigo, Fernando, ao meu compadre e primo Leandro, à minha comadre Priscilla, além do Leandrinho e; aos meus tios Flávio e Leila, juntamente com suas famílias.

Ao meu avô Ernani, que nos deixou durante o mestrado, pela família Alvarez e por toda união criada em torno dela.

Aos familiares que partiram desta vida e que fazem falta nas nossas: meu padrinho Noslen Cardoso, por todo o carinho e que não pôde me ver formado e nem com o título de mestre; meu Tio Wilson, por todo carinho e pelas brincadeiras; minha avó Floripes, que ajudou a me criar e também não pôde me ver como Engenheiro e Mestre e; à minha tia Ivone, por todo carinho de sempre.

À minha madrinha de crisma, Marlene, e todos os meus tios de coração, aqui representados por: Fernando, Angélica, Sá e Ana Lúcia.

Aos meus amigos-irmãos de toda vida: Almir, Ângelo, Igor e Yuri, que sempre estão comigo em todos os momentos, mesmo com a distância física, e sempre me incentivam a ir mais longe.

Aos meus amigos-irmãos feitos na UERJ: Carlos Alberto e Raphael Freire, que se tornaram uma parte de mim nessa caminhada.

Aos grandes amigos e futuros sócios: Igor Sandez, Felipe Ramiro e Wando Fortes. Juntamente com os amigos também “fornecidos” pela UERJ: Bianca, Ana Paula, Telles Braga, Lira, Diego, Faur, Vaner, Brasil, dentre outros.

Ao meu amigo e parceiro de TCC, Allexser Bernacchi, que sempre me incentivou nesta jornada.

Aos colegas da COHIDRO que participaram do início da caminhada do meu mestrado, em especial ao Erick Amâncio e ao Paulo Marcelo, meus chefes à época, e ao Ricardo “Flash”.

Ao Professor Teófilo Ottoni, pelos trabalhos realizados, e à Marta pelo tempo na CPRM e por sempre me incentivar a continuar estudando.

A todos os meus professores que fizeram de mim o que sou hoje, como cidadão e profissional.

Aos professores que me deram a honra de participar da banca examinadora: Adacto Ottoni, meu professor de algumas matérias da graduação, que aumentou minha paixão pela área ambiental e de recursos hídricos; Paulo Fonseca e Marcelo Obraczka, por terem aceitado o meu convite.

Aos meus grandes amigos feitos no INEA e que foram alçar voos mais altos em outros lugares: Daniel, por todo conhecimento compartilhado e carinho ao longo do nosso tempo de trabalho e; Pedro (amigão), que, além de grande chefe, foi um grande amigo que levarei para o resto da minha vida.

Aos meus outros chefes/amigos do INEA: Magaly e Giselle, que sempre me ajudaram a evoluir como técnico, que auxiliaram a resolver os problemas que sempre aparecem no SEHID e me incentivaram a terminar esta dissertação.

Aos amigos “chorumes” da GELIRH: Bruno, Cáren, Isabella, Luana Pereira, Marcelo, Nizara, Tati e Thiago (vai reclamar que está em último, mas está em ordem alfabética, amigão, haha).

Aos amigos do SEHID, SEORH e SEFAM.

Ao INEA e ao seu corpo técnico que me faz crescer como profissional e deu suporte à finalização deste trabalho.

Ao Willian Siciliano, pelo fornecimento da planilha em Excel com os dados pluviométricos das estações do Alerta Rio.

À UERJ, que muito me orgulha e que resiste mesmo diante da crise financeira e moral instaurada no Rio de Janeiro.

A todos que passaram pela minha vida e fizeram de mim o que sou hoje: “Cada um é o que sobrou de ontem, o que juntou de tudo. Diretor, protagonista e roteirista do seu mundo”.

Faço de mim

Casa de sentimentos bons

Onde a má fé não faz morada

E a maldade não se cria

Forfun - Morada

RESUMO

ALVAREZ, Marlon Giovanni Lopes. G*estão sustentável de águas pluviais no parque urbano Ary Barroso, Rio de Janeiro-RJ*. 2017. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Eventos hidrológicos observados nos últimos anos, sobretudo nos anos de 2013 a 2015, alertam para um cenário problemático de disponibilidade hídrica. Outra problemática verificada consiste nos processos de urbanização de grandes cidades, que resultam em um crescimento da área impermeável, o que leva ao aumento do escoamento superficial e ao descréscimo na recarga hídrica dos lençóis freáticos. Desta forma, tem se observado que eventos hidrológicos e climatológicos extremos são potencializados com períodos secos mais duradouros e inundações mais frequentes e com maiores intensidades. Por essas razões, é necessário gerir os recursos hídricos de forma sustentável e integrada. O objetivo desta dissertação foi avaliar a capacidade de suporte de determinadas técnicas de armazenamento e rentenção de águas pluviais no Parque Urbano Ary Barroso, no Rio de Janeiro. Para isso foram verificadas as condições do reservatório existente na Arena Dicró, com 10,8 m³. Inicialmente comparou-se as dimensões do reservatório com as metodologias mais comuns de dimensionamento de reservatórios de águas de chuva, considerando as precipitações médias mensais observadas ao longo dos anos de 1997 a 2016 da estação pluviométrica da Penha, além de considerar uma demanda de 17,3 m³ por mês . Observou-se que o volume do reservatório estava abaixo de todas as metodologias estudadas, aproximando-se mais das dimensões obtidas pelo Método Prático Alemão. Com base nas dimensões reais do reservatório, verificou-se que a maior demanda mensal possível de ser atendida é igual a 14,4 m³, já para a demanda sugerida por este trabalho (17,3 m³), constatou-se que o reservatório atenderia 10 meses do ano. Ainda, foram estudados dois cenários para a verificação do escoamento superficial gerado pela área do Parque Ary Barroso, considerando uma chuva de projeto com um tempo de recorrência de 10 anos e 16 minutso de chuva intensa. Para o Cenário 1, com as condições atuais de ocupação e uso do solo, o escoamento superficial resultou em 0,89 m³/s ou, em termos de volume, 856 m³. Para o Cenário 2, com a implantação de trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis, conseguiu-se amortecer todo o escoamento superficial gerado pela área de estudo. Estes resultados exprimem que técnicas compensatórias podem auxiliar na gestão sustentável de águas pluviais, contribuindo para redução dos impactos ocasionados por chuvas intensas, assim como os sistemas de aproveitamento de águas de chuva podem servir para atender a demanda de água para fins menos nobres.

Palavras-chave: Técnicas Compensatórias; Aproveitamento de Águas Pluviais; Escoamento Superficial.

ABSTRACT

ALVAREZ, Marlon Giovanni Lopes. *Sustainable management of rainwater in urban park Ary Barroso, Rio de Janeiro - RJ*. 2017. 146f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

Hydrological events observed in the last years, especially in the years 2013 to 2015, alert to a problematic scenario of water availability. Another problem is the processes of urbanization of large cities, which result in an increase in the impermeable area, which leads to an increase in surface runoff and a decrease in the hydric recharge of the groundwater. In this way, it has been observed that extreme hydrological and climatic events are potentiated with longer dry periods and more frequent floods and with higher intensities. For these reasons, it is necessary to manage water resources in a sustainable and integrated way. The objective of this dissertation was to evaluate the support capacity of certain rainwater storage and retention techniques in the Ary Barroso Urban Park, in Rio de Janeiro. For this, the conditions of the existing reservoir at the Arena Dicró, with 10.8 m³, were verified. Initially compared the dimensions of the reservoir with the most common methods of sizing rainwater reservoirs, considering the average monthly rainfall observed over the years 1997 to 2016 rainfall season Penha, besides considering a demand of 17,3 m³ per month. It was observed that the volume of the reservoir was below all the methodologies studied, approaching more the dimensions obtained by the German Practical Method. Based on the actual dimensions of the reservoir, it was found that the highest possible monthly demand to be met is equal to 14,4 m³, while for demand suggested by this work (17.3 m³), it was found that the reservoir would serve 10 months of the year. Also, two scenarios were studied to verify the surface runoff generated by the Ary Barroso Park area, considering a project rainfall with a recurrence time of 10 years and 16 minutes of intense rainfall. For Scenario 1, with the current conditions of occupation and land use, the surface runoff resulted in 0.89 m³/s or, in terms of volume, 856 m³. For Scenario 2, with the implantation of infiltration trenches and permeable pavements, it was possible to absorb all the surface runoff generated by the study area. These results express that compensatory techniques can assist in sustainable stormwater management, contributing to reduction of impacts caused by heavy rains, as well as rainwater utilization systems may serve to meet the water demand for less noble purposes.

Keywords: Compensatory Techniques; Rainwater Harvesting; Runoff.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Distribuição de água doce superficial no Brasil 27
Figura 2 - Elementos-chave do LID 35
Figura 3 - Trincheira de infiltração em canteiro central 39
Figura 4 - Perfis de trincheira de infiltração adotadas na literatura 40
Figura 5 - Pavimento permeável: sistema revestido com peças intertravadas de concreto poroso. 41
Figura 6 -Reservatórios de águas pluviais 43
Figura 7 - Central Park (a) e Parque La Villette (b) 45
Figura 8 - Parques urbanos em cidades brasileiras 45
Figura 9 - Localização do Parque Ary Barroso 54
Figura 10 - Localização do Parque Ary Barroso (RH V) 55
Figura 11 - Uso e Ocupação da Bacia do Rio Irajá 56
Figura 12 - Localização das estações pluviométricas do Alerta Rio 58
Figura 13 - Área de Captação da Arena Dicró 59
Figura 14 - Modelo Digital de Terreno em formato TIN 66
Figura 15 - Divisão das sub-áreas de contribuição do Parque Ary Barroso 68
Figura 16 - Tipos de ocupação do Parque Ary Barroso 69
Figura 17 - Mapa de ocupação do Parque Ary Barroso – Cenário 1 70
Figura 18 - Mapa com as tipologias de ocupação, por valor de runoff, do Parque Ary Barroso 73
Figura 19 - Esquema adotado de trincheira de infiltração 74
Figura 20 - Esquema adotado de pavimento permeável 77
Figura 21 - Locais utilizados como estacionamento 80
Figura 22 - Área escolhida para locar teoricamente as trincheiras de infiltração na Sub-Área de Drenagem A 104
Figura 23 - Áreas escolhidas para locar teoricamente o pavimento permeável na Sub-Área de Drenagem A 106
Figura 24 - Área escolhida para locar teoricamente a trincheira de infiltração na Sub-Área de Drenagem B 108
Figura 25 - Áreas escolhidas para locar teoricamente o pavimento permeável. 110

Figura 26 - Área escolhida para locar teoricamente a trincheira de infiltração na Sub-Área de Drenagem C 112
Figura 27 - Áreas escolhidas para locar teoricamente o pavimento permeável na Sub-Área de Drenagem C 114
Figura 28 - Área escolhida para locar teoricamente a trincheira de infiltração na Sub-Área D 116
Figura 29 - Áreas escolhidas para locar teoricamente o pavimento permeável na Sub-Área de Drenagem D 118
Figura 30 - Layout do Cenário 2 120

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Ano utilizado para verificação do dimensionamento do reservatório.....83

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Distribuição de água doce superficial no mundo 27
Quadro 2 - Consumo médio per capita dos estados mais populosos do Brasil, no ano de 2015 29
Quadro 3 - Fases do desenvolvimento das águas urbanas 33
Quadro 4 - Principais funções dos parques urbanos 47
Quadro 5 - Demanda média por tipologia de uso da água 59
Quadro 6 - Coeficientes da equação da IDF 71
Quadro 7 - Coeficiente de escoamento superficial ou runoff 72
Quadro 8 - Expressões de conversão dos parâmetros da equação IDF 77
Quadro 9 - Tabela consistida dos dados mensais de chuva, em mm, ao longo dos 20 anos de análise 82
Quadro 10 - Informações da Arena Dicró 84
Quadro 11 - Estimativa de demanda da Arena Dicró 84
Quadro 12 - Resultado do dimensionamento pelo método de Rippl 86
Quadro 13 - Resultado do dimensionamento ótimo para uma confiança de 99%, pelo método prático australiano 90
Quadro 14 - Resultados de confiança para alguns volumes adotados no pré-dimensionamento do reservatório, pelo método prático australiano 91
Quadro 15 - Máximos de dias consecutivos sem chuvas ao longo dos 20 anos de dados 91
Quadro 16 - Resumo dos resultados do volume do reservatório para diferentes metodologias. 92
Quadro 17 - Resultados da análise do volume do reservatório existente 94
Quadro 18 - Resultados da análise do volume do reservatório existente 96
Quadro 19 - Parâmetros da equação de Kirpich 98
Quadro 20 - Coeficiente de escoamento superficial ponderado do Parque 99
Quadro 21 - Valores de referência de porosidade do material de preenchimento da trincheira de infiltração 101
Quadro 22 - Parâmetros da equação de Talbot 101
Quadro 23 - Valores de referência de porosidade de materiais de preenchimento do pavimento permeável 102
Quadro 24 - Características hidrológicas da Sub-Área de Drenagem A 103

Quadro 25 - Dimensões das trincheiras de infiltração da Sub-Área de Drenagem A 105
Quadro 26 - Características hidrológicas da Sub-Área de Drenagem B 107
Quadro 27 - Dimensões das trincheiras de infiltração da Sub-Área de Drenagem A 109
Quadro 28 - Características hidrológicas da Sub-Área de Drenagem C 111
Quadro 29 - Dimensões das trincheiras de infiltração da Sub-Área de Drenagem C 113
Quadro 30 - Características hidrológicas da Sub-Área de Drenagem D 115
Quadro 31 - Dimensões das trincheiras de infiltração da sub-área de drenagem A 117
Quadro 32 - Resumo das técnicas compensatórias ao longo do Parque Ary Barroso 121

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação (1) 60
Equação (2) 60
Equação (3) 60
Equação (4) 61
Equação (5) 62
Equação (6) 62
Equação (7) 63
Equação (8) 63
Equação (9) 63
Equação (10) 64
Equação (11) 64
Equação (12) 65
Equação (13) 70
Equação (14) 71
Equação (15) 71
Equação (16) 75
Equação (17) 75
Equação (18) 75
Equação (19) 76
Equação (20) 76
Equação (21) 77
Equação (22) 77
Equação (23) 77
Equação (24) 77
Equação (25) 77
Equação (26) 78
Equação (27) 78
Equação (28) 79
Equação (29) 79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
AP	Área de Planejamento
BMPs	*Best Management Practices* (Melhores Práticas de Gestão)
CERHI	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CN	*Curve Number* (Curva Número)
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
DCSC	Dias Consecutivos sem Chuvas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade Duração e Frequência
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INEPAC	Instituto Estadual do Patrimônio Cultural
LID	*Low Impact Development* (Desenvolvimento de Baixo Impacto)
LIUUD	*Low Impact Urban Design and Development* (Desenvolvimento e Projeto de Baixo Impacto)
MDT	Modelo Digital de Terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
ONU	Organização das Nações Unidas
PCRJ	Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PL	Projeto de Lei
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RH	Região Hidrográfica
SAP	Sistemas de Águas Pluviais
SEA	Secretaria Estadual do Ambiente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SUDS	*Sustainable Urban Drainage Systems* (Sistema Sustentável de Drenagem Urbano)

TIN	*Triangular Irregular Network* (Rede Irregular Triangular)
UC	Unidade de Conservação
UPA	Unidade de Pronto Atendimento
UPP	Unidade de Polícia Pacificadora
US EPA	*United States Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América)
TR	Tempo de Recorrência
WSUD	*Water Sensitive Urban Design* (Design Urbano Sensível à Água)

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO 21
Problemática e Justificativa 21
Objetivos Geral e Específicos 23
Estrutura da Dissertação 23
1. REVISÃO DA LITERATURA 26
1.1 Pressão Hídrica 26
1.1.1 Disponibilidade Hídrica 26
1.1.2 Demanda por Água 28
1.1.3 Degradação e Desperdício 29
1.1.4 Mudanças Climáticas 30
1.2 Gestão Sustentável de Águas Pluviais Urbanas 31
1.2.1 Histórico dos sistemas de drenagem urbana 31
1.2.2 Drenagem Urbana Sustentável 33
1.2.3 Técnicas Compensatórias de drenagem urbana 37
1.2.3.1 Trincheira de Infiltração 39
1.2.3.2 Pavimento Permeável 40
1.2.3.3 Reservatório de Águas Pluviais 42
1.3 Parques Urbanos 43
1.3.1 Histórico e Definições 43
1.3.2 Funções 46
1.3.3 Aplicação de Técnicas Compensatórias nos Parque Urbanos 48
1.4 Normas e Legislações Aplicadas ao Aproveitamento das Águas Pluviais e Redução do Escoamento Superficial 49
2. METODOLOGIA 52
2.1 Caracterização da Área de Estudo 52
2.1.1 Breve Histórico do Parque Ary Barroso 52
2.1.2 Localização do Parque Ary Barroso 52
2.1.3 Clima 57
2.2 Dados Pluviométricos 57
2.3 Demanda de Água da Arena Dicró 58

2.4 Metodologias de Dimensionamento de Reservatórios para o armazenamento de Água de Chuva 59
2.4.1 Método de Rippl 60
2.4.2 Método Azevedo Neto 61
2.4.3 Método prático alemão 62
2.4.4 Método prático inglês 62
2.4.5 Método prático australiano 62
2.4.6 Método dos dias consecutivos sem chuva 64
2.5 Verificação da capacidade de armazenamento do reservatório existente no Parque 65
2.6 Cenários 65
2.6.1 Uso e Ocupação do solo no Parque Ary Barroso 66
2.6.2 Hidrologia 70
2.6.3 Técnicas compensatórias de drenagem de águas pluviais 73
2.6.3.1 Metodologia de Dimensionamento da Trincheira de Infiltração 74
2.6.3.1.1 Volume da trincheira 74
2.6.3.1.2 Volume de armazenamento 75
2.6.3.1.3 Volume precipitado 75
2.6.3.1.4 Volume infiltrado 76
2.6.3.1.5 Infiltração acumulada 76
2.6.3.2 Metodologia de Dimensionamento do Pavimento Permeável 76
2.6.3.2.1 Volume armazenado 78
2.6.3.2.2 Taxa de infiltração do solo 78
2.6.3.2.3 Parâmetro β 78
2.6.3.2.4 Altura da camada de armazenamento do pavimento 79
2.6.3.3 Locação 79
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES 81
3.1 Dados Pluviométricos 81
3.2 Estimativa da Demanda de Água da Arena Dicró 83
3.3 Verificação das Dimensões do Reservatório Existente 85
3.3.1 Método de Rippl 85
3.3.2 Método Azevedo Neto 87
3.3.3 Método prático alemão 87
3.3.4 Método prático inglês 88
3.3.5 Método prático australiano 88

3.3.6 Método dos dias consecutivos sem chuva 91
3.3.7 Consolidação dos métodos aplicados 92
3.4 Verificação do volume do reservatório existente 93
3.4.1 Cálculo da demanda máxima possível para o reservatório 93
3.4.2 Avaliação do volume do reservatório com a demanda calculada 95
3.5 Cenários 97
3.5.1 Cenário 1 98
3.5.2 Cenário 2 100
3.5.2.1 Trincheira de Infiltração 100
3.5.2.2 Pavimento Permeável 101
3.5.2.3 Sub-Área de Drenagem A 102
3.5.2.4 Sub-Área de Drenagem B 107
3.5.2.5 Sub-Área de Drenagem C 111
3.5.2.6 Sub-Área de Drenagem D 115
3.5.2.7 Consolidação das Técnicas Compensatórias 119
CONCLUSÕES 123
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 126
REFERÊNCIAS 127
APÊNDICE A – Questionário sobre uso de água do Parque Ary Barroso 137
APÊNDICE B – Planilhas utilizadas no dimensionamento do reservatório 139
APÊNDICE C – Artigo Científico publicado pela Revista Internacional de Ciências (RIC) 146

INTRODUÇÃO

Problemática e Justificativa

A água é um recurso natural fundamental para a vida no planeta, além de ter papel essencial no desenvolvimento tecnológico e humano, seja para a geração de energia elétrica e para produção industrial, ou na sua captação para consumo humano e dessedentação de animais.

O Brasil conta com cerca de 50% das águas superficiais da América do Sul, com cerca de 11% do volume mundial disponível, de modo a tornar um país de grande representatividade no âmbito de recursos hídricos (TUCCI *et al.*, 2000). Contudo, eventos hidrológicos observados nos últimos anos, sobretudo nos anos de 2013 a 2015, alertam para um cenário problemático quanto a disponibilidade hídrica. Segundo Soriano *et al*. (2016), devido aos baixos índices pluviométricos, a deficiência no planejamento dos recursos hídricos e a ocupação desordenada e/ou irregular de encostas, a seca histórica da região Sudeste do Brasil em 2014 e 2015 teve como consequência a redução severa dos principais sistemas de abastecimento de água na região Sudeste. Ainda, Garcia *et al*. (2015) ressalta a relevância de relacionar os problemas de escassez hídrica no século XXI com a problemática de preservação e conservação dos recursos hídricos.

Por essas razões, é necessário gerir os recursos hídricos de forma sustentável e integrada, em diversas escalas de atuação, como em loteamentos e/ou na micro e macrodrenagem de determinadas bacias hidrográficas. Desse modo, surgiu na Austrália, por volta dos anos 1990, o termo *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), que tem por objetivo central a conservação dos recursos hídricos e o aproveitamento de águas pluviais (FLETCHER *et al*., 2015). Este conceito, adaptado em outros países, tem surgido no intuito de promover um desenvolvimento mais sustentável do uso dos recursos hídricos, especialmente na gestão das águas pluviais.

Na evolução dos princípios dos sistemas de saneamento, essas ideias complementam ou mesmo substituem medidas tradicionais de drenagem urbana, as quais seguem, em boa parte, conceitos higienistas baseados em solucionar localmente os problemas relacionados ao escoamento das águas pluviais e levá-los para jusante. O processo de urbanização das cidades

brasileiras, além de ocorrer de forma desordenada, tem utilizado elementos higienistas nos sistemas de drenagem urbana das águas pluviais.

O IBGE (2010) registrou que a taxa de urbanização no Brasil cresceu de 56% para 84%, entre os anos de 1970 e 2010. Pela falta de planejamento e, consequentemente, de sustentabilidade na implantação dos elementos urbanísticos, alguns impactos podem ser observados no ciclo hidrológico, com diversas consequências para a sociedade e o meio ambiente. Um exemplo é o crescimento da área impermeável nas cidades, de modo a resultar no aumento do escoamento superficial e um decréscimo na recarga hídrica dos lençóis freáticos, devido à diminuição da infiltração da água no solo (TUCCI *et al.*, 1995; NUNES *et al.*, 2015). Nesse sentido, tem se observado que eventos hidrológicos e climatológicos extremos são potencializados com períodos secos mais duradouros e inundações mais frequentes e com maiores intensidades.

Como contraponto à impermeabilização do solo nas cidades, existem os parques urbanos. As áreas naturais protegidas, sobretudo quando inseridas no contexto urbano, detêm diversos valores, como: estéticos, ecológicos e recreativos (LOCKWOOD, 2006 *apud* PELLIN *et al*., 2014). Tais áreas verdes em meio ao “cinza” das cidades são fundamentais para o convívio da sociedade e podem ser melhores aproveitadas, quando integradas áreas sustentáveis e funcionais.

Neste contexto, o presente trabalho tem como hipótese que a gestão sustentável das águas pluviais é capaz de atender parcialmente ou totalmente a demanda de água utilizada em usos não potáveis, como descargas de banheiros, regas e limpeza em geral em um parque urbano, além de diminuir o escoamento superficial por meio da implantação de técnicas compensatórias de drenagem urbana.

Esta pesquisa está vinculada ao projeto SAP - Sistemas de Águas Pluvias, coordenado pelo Professor Doutor Alfredo Akira Ohnuma Jr., que objetiva o desenvolvimento de pesquisas e estudos relacionados à captação, armazenamento, retenção e aproveitamento de águas pluviais, integrados ao projeto de revitalização do Parque Ary Barroso.

Objetivos Geral e Específicos

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a capacidade suporte de determinadas técnicas de armazenamento e retenção de águas pluviais no Parque Urbano Ary Barroso, Penha, Rio de Janeiro-RJ.

Os objetivos específicos consistem de:

• analisar a viabilidade técnica do reservatório de captação de água de chuva implantado no parque para atender demandas de água para fins não potáveis e

• propor cenários com técnicas compensatórias para o amortecimento do escoamento superficial no Parque Ary Barroso, situado na Penha, cidade do Rio de Janeiro.

De forma resumida, são apresentadas as etapas principais do trabalho, como forma de atender aos objetivos propostos:

- avaliar a demanda de água no Parque Ary Barroso;
- verificar se o reservatório existente está de acordo com as metodologias de dimensionamento da ABNT NBR 15527:2007;
- avaliar mensalmente a capacidade do reservatório de atender a demanda do parque;
- analisar a disponibilidade hídrica gerada pelo sistema de captação de águas pluviais da Arena Dicró e;
- consolidar volumes precipitados e efetivos na área de estudo, conforme dados de precipitação disponíveis pelo sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro.

Estrutura da Dissertação

A estrutura textual da pesquisa apresenta três capítulos principais: introdução, desenvolvimento e conlusões.

A Introdução é constituída pelos itens: problemática e justificativa, objetivos geral e específicos e estrutura da dissertação.

O Desenvolvimento está representado por 3 capítulos. O Capítulo 1 trata da revisão da literatura e do referencial teórico, relativo ao tema da dissertação. Inicialmente, são apresentados conceitos e informações no âmbito da pressão hídrica. Em seguida, é apresentada a definição de Gestão Sustentável de Águas Pluviais Urbanas, com citações de ideias e práticas sustentáveis e integradas ao manejo das águas de chuva, além da apresentação das técnicas compensatórias utilizadas no trabalho. Posteriormente, são apresentados os sistemas de aproveitamento de águas pluviais, com definições dos usos da água, além de um breve histórico sobre o aproveitamento de água da chuva. Ainda, descreve-se o conceito de parque urbano e sua relação com a sociedade. Por fim, são apresentadas as normas e legislações aplicadas ao aproveitamento de água de chuva e à redução de escoamento superficial em áreas urbanas.

O capítulo 2 descreve a metodologia do estudo, como:

- caracterização da área de estudo (Parque Ary Barroso e seu entorno), com sua respectiva localização e descrição dos principais aspectos físicos, hidrológicos e meteorológicos pertinentes a esta pesquisa;
- consistência dos dados pluviométricos;
- avaliação da demanda de água do parque urbano, com a apresentação do sistema de captação da Arena Dicró;
- exposição das metodologias de dimensionamento de reservatórios;
- análise mensal da oferta e demanda de água na área de interesse;
- avaliação dos cenários estudados: 1) situação sem intervenções, com a disposição atual do parque e análise do escoamento gerado nestas condições; 2) com a implantação de técnicas compensatórias e verificação do amortecimento gerado pelo dimensionamento destes dispositivos.

O capítulo 3 reúne os resultados do trabalho e a discussão, referentes à: (i) comparação das dimensões do reservatório existente com as metodologias referenciadas, (ii) demanda e à oferta de água do parque urbano, além do (iii) cálculo de volumes precipitados excedentes devido às alterações de uso e ocupação do solo no Parque Ary Barroso.

Por fim, as Conclusões da pesquisa são apresentadas, assim como as limitações identificadas e as recomendações para trabalhos futuros.

A dissertação consta ainda dos Apêndices:

A) Questionário aplicado aos funcionários da Arena Dicró, pertencente ao Parque Ary Barroso, e da Fundação Parques e Jardins, da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, responsável pela gestão dos parques urbanos no município;

B) Planilhas, em Excel, utilizadas no dimensionamento do reservatório de águas pluviais; e

C) Artigo científico, que trata de técnicas compensatórias aplicadas em loteamento urbano.

1. REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Pressão Hídrica

O crescimento econômico e demográfico tem provocado, principalmente nos países emergentes, elevado incremento na demanda por água. A agricultura e determinadas atividades industriais representam uma parcela considerável neste aumento da demanda. O desenvolvimento das cidades nem sempre foi acompanhado de um planejamento de ocupação do território, com infraestrutura urbana adequada, o que acarretou na deterioração da qualidade dos corpos hídricos em muitos locais. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) estima que até 2030 quase metade da população mundial viverá em regiões com grave estresse hídrico e a demanda por água deverá aumentar em pelo menos 40% (NIC, 2012). Como fator agravante para este cenário destacam-se também os impactos das mudanças climáticas, com registros de eventos de seca e inundações urbanas.

Os principais fatores que contribuem para o aumento da pressão sobre os recursos hídricos constam descritos nos subcapítulos adiante.

1.1.1 Disponibilidade Hídrica

A água doce equivale a menos de 3% de toda água do mundo, sendo que apenas 0,5% desta parcela correspondem ao volume de água doce disponível para as necessidades do homem e manutenção dos ecossistemas (ANA, 2009). Deste percentual, 98% encontram-se armazenado nos aquíferos, 1% sob a forma de chuvas, e o restante em lagos naturais, reservatórios e rios (UNESCO, 2003; VÖRÖSMARTY *et al*., 1997). Além disso, este volume de água doce não se distribui de forma igualitária em todo o planeta. Em relação às águas superficiais, o Quadro 1 apresenta a potencialidade hídrica de cada continente. Observa-se que os continentes americano e asiático são os mais favorecidos em reservas de água doce, detendo cerca de 70%.

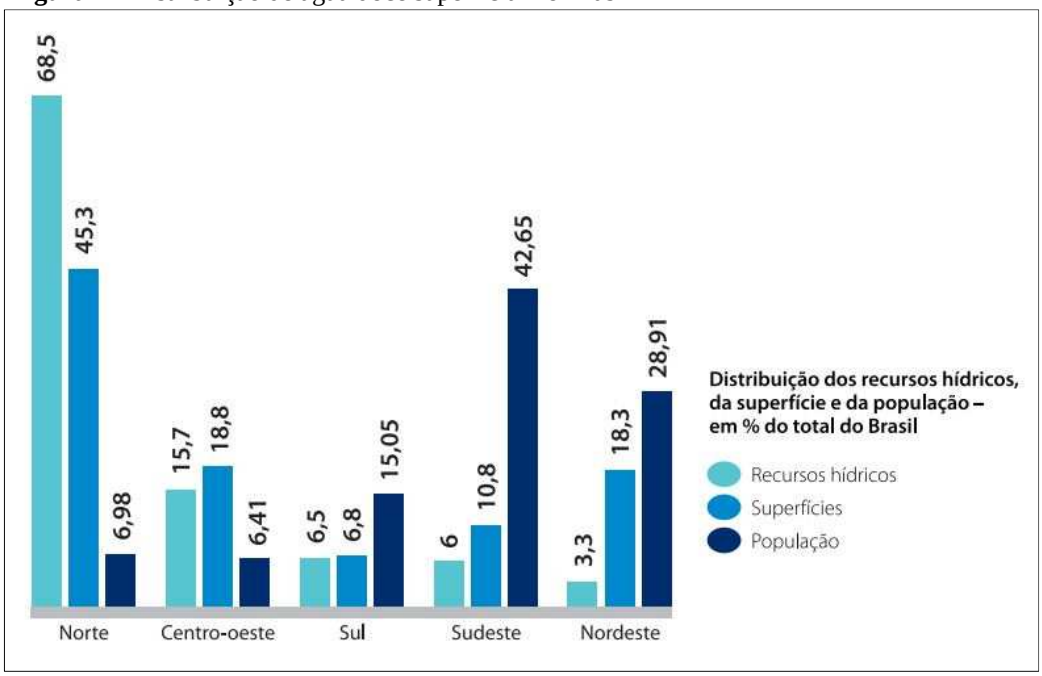
Quadro 1 - Distribuição de água doce superficial no mundo

Continente	Percentual de Água Doce
África	9.7%
América	39.6%
Ásia	31.8%
Europa	15.0%
Oceania	3.9%

Fonte: Adaptado de ANA (2009).

O Brasil apresenta um cenário favorável em relação às reservas hídricas visto que detém 12% da disponibilidade de água doce do planeta. A distribuição de água ocorre de forma bastante desigual entre as regiões, conforme mostra a Figura 1. A região Norte apresenta a maior reserva hídrica do país, especialmente a Amazônia, porém concentra uma das menores taxas populacionais. Enquanto que as regiões Sudeste e Nordeste abrangem os maiores percentuais populacionais e contam com os menores volumes de água doce.

Figura 1 - Distribuição de água doce superficial no Brasil



Fonte: MMA (2005).

Em termos de vazões, passam pelo território brasileiro em média cerca de 260 mil m^3/s de água, dos quais 205 mil m^3/s estão localizados na bacia do rio Amazonas e 55 mil m^3/s no restante do país (ANA, 2016). Ao longo do ano, o regime fluvial sofre variações devidas, sobretudo, ao regime das precipitações. No Nordeste, por exemplo, na época da

estiagem os rios secam naturalmente, sendo necessária a utilização de açudes e reservatórios para garantir a oferta de água.

Segundo MMA (2005), não só a disponibilidade de água não ocorre de maneira uniforme, mas a oferta de água tratada também reflete os contrastes no desenvolvimento das cidades brasileiras: na região Sudeste 87,5% dos domicílios são atendidos por rede de distribuição de água, já no Nordeste a porcentagem é de apenas 58,7%.

1.1.2 Demanda por Água

De uma forma geral, a demanda por água se origina a partir de dois tipos de usos: consuntivos (abastecimento, dessedentação de animais e irrigação) e não consuntivos (geração de energia, navegação e pesca). Nos usos consuntivos parte da água captada é consumida no processo produtivo, não retornando ao corpo hídrico, enquanto que os usos não consuntivos consideram a existência ou não de derivação das águas do leito natural para tornar possível seu uso, com retorno de toda água captada, geralmente com menor vazão ou com alteração na sua qualidade (ANA, 2013).

Em relação aos usos não consuntivos, o setor de geração de energia elétrica apresenta a maior demanda. O Relatório das Nações Unidas de Desenvolvimento de Recursos Hídricos de 2014 (WWAP, 2014) alerta que até 2035, o aumento da população, a urbanização e a mudança de padrões de consumo façam com que o uso da água para produção de energia aumente mais 20%. Atualmente, a produção de energia é responsável por cerca de 15% da retirada de água. Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia – PDE (EPE, 2015), por exemplo, no período entre 2015 a 2024, a capacidade de geração hidráulica no Brasil aumentará de 90 GW para 117 GW.

Já em relação aos usos consuntivos, a vazão consumida[1] representa 72% para a irrigação, 11% para dessedentação de animais, 9% para abastecimento urbano, 7% para o setor industrial e 1% para abastecimento rural (ANA, 2012). Tanto no Brasil quanto no mundo, o setor agrícola apresenta a maior demanda por água. Tundisi (2008) destaca que a demanda mundial para a produção de alimentos cresce a taxas muito altas, aumentando, cada vez mais, a pressão sobre os recursos hídricos. Neste caso, ressalta-se que em regiões áridas e

[1] A vazão consumida é calculada pela diferença entre a vazão de retirada do corpo hídrico e a vazão de retorno (obtida a partir da vazão de retirada, multiplicando esta por um coeficiente de retorno característico de cada tipo de uso) (ANA, 2013).

semiáridas recorre-se ao uso das águas subterrâneas, o que vem a acarretar na diminuição do volume dos aquíferos. O crescimento das cidades resulta também no aumento da demanda por água para abastecimento público, principalmente com o aumento dos aglomerados urbanos, e para o setor industrial. O Quadro 2 apresenta um retrato das demandas de abastecimento dos estados mais populosos do Brasil.

Quadro 2 - Consumo médio per capita dos estados mais populosos do Brasil, no ano de 2015

ESTADO	LITROS/HAB/DIA
São Paulo	159,2
Minas Gerais	148,8
Rio de Janeiro	254,6
Bahia	117,0
Rio Grande do Sul	159,6
Paraná	138,4

Fonte: Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS (2017).

Ao considerar a Lei das Águas, Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997), a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas. Entretanto, a crescente demanda e a gestão inadequada dos recursos hídricos, sobretudo nos locais com disponibilidade comprometida, têm ocasionado problemas que vão desde a poluição dos mananciais até a formação de áreas de desertificação, interferindo, desta forma, tanto na qualidade e quantidade quanto no acesso à água (ARSKY; SANTANA, 2015).

1.1.3 Degradação e Desperdício

Um dos principais impactos sobre a qualidade dos recursos hídricos refere-se às atividades antropogênicas que acarretam na poluição como ocorre no lançamento de esgotos domésticos e industriais não tratados, aém da alteração das características naturais dos corpos hídricos, como na remoção da cobertura vegetal, assoreamento e erosão. Nos aglomerados urbanos, por exemplo, onde há carência dos serviços de saneamento, são identificados sérios problemas com poluição concentrada, assoreamento dos corpos d’água e diminuição das velocidades de escoamento.

De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB (MCIDADES, 2013), em 2010, 35% da população brasileira contava com soluções inadequadas para o afastamento de seus esgotos como lançamento em fossa rudimentar, rio, lago ou mar. Além disso, dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (IBGE, 2008) indicam que apenas 53% do volume de esgotos coletados recebiam algum tipo de tratamento, antes de sua disposição no ambiente. Tal cenário configura-se como sendo um dos principais desafios no contexto da saúde pública e ambiental, ou seja, adotar e gerenciar um sistema eficaz de esgotamento sanitário que atenda a toda população e minimize os impactos gerados no meio ambiente.

O documento Agenda 21, resultado da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento – CNUMAD (BRASÍLIA, 1995), e que representa um instrumento de planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável do país, inclui ações que visam a proteção dos recursos hídricos, da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos, e destaca que:

> Os problemas mais graves que afetam a qualidade da água de rios e lagos decorrem, em ordem variável de importância, segundo as diferentes situações, de esgotos domésticos tratados de forma inadequada, controles inadequados dos efluentes industriais, perda e destruição das bacias de captação, localização errônea de unidades industriais, desmatamento, agricultura migratória sem controle e práticas agrícolas deficientes.

Outra questão problemática refere-se ao despedício da água. Segundo os dados do SNIS (2017), o índice de perda total da água tratada e injetada nas redes de distribuição nas cidades brasileiras equivale a 37%, enquanto que nos países desenvolvidos, como Austrália e Nova Zelância, esta taxa é inferior a 10%. As perdas acentuadas nos sistema de abastecimento juntamente com os desperdícios frequentemente gerados pela população ocasionam prejuízos econômicos consideráveis nas cidades e agravam os cenários de escassez hídrica.

1.1.4 Mudanças Climáticas

Em todas as regiões brasileiras a disponibilidade de água depende da climatologia dinâmica nas diversas escalas temporais (MARENGO *et al*., 2010). Desta forma, as alterações do clima, especificamente o aumento da temperatura e diminuição das precipitações, afetam negativamente a quantidade e qualidade das águas superficais e subterrâneas.

De acordo com Rocha (2014), eventos climáticos extremos, como estiagens prolongadas, fortes tempestades e ondas de calor ou frio intenso, devem se tornar mais frequentes à medida que a temperatura do planeta se eleva, com impactos na disponibilidade dos recursos hídricos em grandes centros urbanos. A partir do segundo semestre de 2012, foi observado uma gradativa e intensa redução nas taxas pluviométricas em algumas regiões do Brasil, o que resultou em uma severa crise hídrica no ano de 2014, especialmente em São Paulo e Rio de Janeiro, consideradas as regiões metropolitanas mais populosas e com maior demanda hídrica do país. No Encarte Especial sobre a Crise Hídrica, elaborado pela ANA (2014), destaca-se que a compreensão das causas das alterações climáticas e das tendências das chuvas interanuais ainda é imprecisa devido, principalmente, ao curto período de observações dessas anomalias. Ressaltam-se, porém, as ações estruturantes de gestão , como técnicas de reúso, aproveitamento das águas pluviais, recuperação de ecossistemas em regiões de mananciais e implantação de saneamento básico. Essas ações são fundamentais para garantir maior segurança hídrica aos sistemas de abastecimento e às atividades produtivas.

Os estudos estratégicos de recursos hídricos constituem a base para o estabelecimento de futuras políticas de desenvolvimento e para o planejamento regional e territorial do país. Além disso, Tundisi (2014) salienta que a ampliação e aprofundamento das questões relacionadas com os processos hidrológicos e do solo, clima, vegetação, na escala da bacia hidrográfica, deve ser uma das prioridades em pesquisa científica sobre os impactos das mudanças globais. Neste caso, a modelagem matemática torna-se ferramenta essencial para o gerenciamento dos recursos hídricos, já que permite a simulação de eventos extremos e possibilita avaliar a eficiência de alternativas mitigadoras.

1.2 Gestão Sustentável de Águas Pluviais Urbanas

1.2.1 Histórico dos sistemas de drenagem urbana

Historicamente, as primeiras comunidades se estabeleceram próximas aos corpos hídricos já que este recurso era a fonte de sua sobrevivência por meio do abastecimento de água à população, da disponibilidade de alimento e da capacidade de desenvolver atividades

agrícolas. Sendo assim, as cidades se desenvolveram no entorno de rios e córregos e, ao longo do tempo, as técnicas para escoamento das águas pluviais foram evoluindo.

Segundo Fernandes (2002), as primeiras práticas de drenagem surgiram como um complemento dos sistemas de irrigação e, posteriormente, foram adotadas na recuperação de extensas áreas alagadas, controle da umidade do solo em áreas agrícolas e desvio das águas subterrâneas em locais destinados às construções. Bertrand-Krajewski (2006) destaca que, durante a idade média, nas vilas rurais as águas pluviais e servidas eram direcionadas para rios próximos, enquanto que nas cidades eram lançados diretamente nas ruas ou corpos hídricos sem nenhum tipo de tratamento. Tal cenário resultou em epidemias e doenças com alta taxa de mortalidade. Em virtude disso, a partir do século XVI surgiram as primeiras preocupações com o problema de insalubridade urbana, o que acarretou na pavimentação das ruas e construção de obras de canais de drenagem onde escoavam os refúgios indesejáveis acumulados nas ruas e na canalização de rios urbanos. Com a intensificação do processo de urbanização a partir da Revolução Industrial no século XVIII, o rápido crescimento das cidades, que na maioria dos casos ocorreu sem controle urbanístico, agravou os problemas hídricos relacionados à infraestrutura obsoleta e insuficiente.

Além disso, foi verificado um aumento da magnitude e frequência das inundações urbanas, principalmente a partir do século XIX. Diante deste cenário, surge o conceito higienista, baseado no rápido afastamento das águas pluviais e servidas do seu local de origem com uso das práticas de canalização e implantação das estruturas de micro e macrodrenagem, que caracterizam o sistema convencional de drenagem urbana. Em suma, a microdrenagem está relacionada com os dispositivos de redes coletoras, sarjetas e bocas de lobo que levam as águas do escoamento superficial em direção as galerias ou canais urbanos. A macrodrenagem corresponde às estruturas que proporcionam o escoamento final das águas pluviais, provenientes da microdrenagem.

Inicialmente, as técnicas convencionais de drenagem tinham como objetivo eliminar os problemas das inundações e assoreamento, e adequar os corpos hídricos ao crescimento das cidades, de modo a aumentar as vias de transporte e as áreas de loteamento. Desta forma, muitos dos cursos d’água presentes em áreas urbanas foram transformados em canais, cobertos por estruturas resistentes como pedra e concreto. Posteriormente, verificou-se que tal medida é insustentável já que desconsidera as características naturais dos rios e os efeitos no ciclo hidrológico, já que com a impermeabilização a água não infiltra no solo e não permite assim alcançar o lençol freático. Outro impacto gerado refere-se à retificação dos rios e córregos onde a velocidade de escoamento aumenta consideravelmente. Assim, os trechos a

montante podem ser protegidos dos eventos de inundação, porém os pontos posteriores tornam-se afetados pela mudança das características naturais antecedentes ao longo da bacia.

Desta forma, a partir da década de 1990, o conceito de drenagem urbana sustentável começou a ganhar espaço, representando uma abordagem integrada entre a urbanização, a hidrologia urbana e o meio ambiente. Neste caso, dispensa-se a ideia de rápido afastamento das águas pluviais, como ocorre nas soluções convencionais, e foca-se em condições que aumentem o tempo de concentração do escoamento na bacia com o objetivo de não transferir os problemas para jusante.

O Quadro 3 resume as principais fases do desenvolvimento das cidades em relação à evolução dos sistemas de drenagem urbana.

Quadro 3 - Fases do desenvolvimento das águas urbanas

Fase	Características	Consequências
Pré-higienista: até o início do século XX	Esgoto em fossas ou diretamente nas ruas, sem coleta ou tratamento	Epidemias e doenças com alta taxa de mortalidade
Higienista: até os anos 1970	*Tout à l'égout* – Transporte do esgoto junto às águas pluviais, por canalização dos escoamentos	Redução das doenças e da mortalidade, degradação dos corpos d'água, contaminação dos mananciais
Corretiva: entre 1970 e 1990	Sistema separador absoluto, tratamento dos esgotos, amortecimento dos escoamentos pluviais	Melhoria da qualidade da água dos rios, poluição difusa, obras de grande impacto
Desenvolvimento Sustentável: após 1990	Tratamento do escoamento pluvial, preservação do sistema natural, integração institucional	Conservação ambiental, melhoria da qualidade de vida, controle das inundações

Fonte: Adaptado de Tucci (2005).

1.2.2 Drenagem Urbana Sustentável

A Lei de Saneamento Básico, Lei Federal nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), define a drenagem e o manejo das águas pluviais urbanas como o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais, de transporte, detenção ou retenção para o

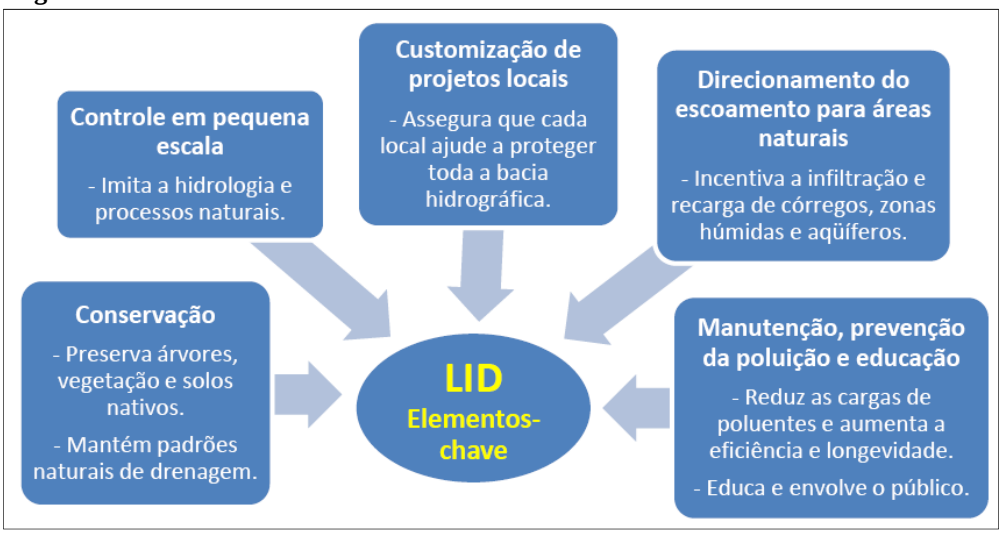
amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas e associadas às ações de planejamento e de gestão da ocupação do espaço territorial urbano. Assim, o sistema sustentável de drenagem urbana integrado ao desenvolvimento da cidade proporciona redução dos impactos da urbanização sobre os padrões naturais de escoamento, à medida que combina os aspectos quantitativos e qualitativos, de modo a alcançar os objetivos técnicos, sociais, econômicos e políticos, e amenizar a transferência de custos no espaço e no tempo (MIGUEZ; MAGALHÃES, 2010).

Os Estados Unidos foram os precursores na adoção de práticas sustentáveis de drenagem urbana a partir da década de 70, conhecidas como Melhores Práticas de Gestão – *Best Management Practices* (BMPs). Inicialmente, tais práticas eram baseadas no tratamento de águas residuais das áreas industriais e/ou esgotos municipais e, posteriormente, adotadas para o controle da poluição difusa e gestão das águas pluviais (FLETCHER *et al*., 2015). Segundo definição da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos – *United States Environmental Protection Agency* (EPA, 2011), as BMPs representam técnicas, processos, atividades ou estruturas capazes de reduzirem os poluentes presentes no escoamento superficial e implementadas individualmente ou em conjunto para maximizar sua eficácia. Podem ser classificados em medidas estruturais, quando utilizados dispositivos de captação, armazenamento e tratamento das águas pluviais, e não estruturais, com uso de ações de natureza institucional, administrativa ou financeira, de caráter preventivo e corretivo, como programas de prevenção à poluição e sistemas de alerta de cheias.

Ao longo do tempo, as BMPs evoluiram para um conceito mais abrangente, denominado de *Low Impact Development* (LID) – Desenvolvimento de Baixo Impacto, que busca a integração entre as medidas de controle da qualidade e quantidade dos escoamentos pluviais e os aspectos físicos, socioeconômicos e ambientais da região. De acordo com a EPA, o termo LID refere-se aos sistemas e práticas que usam ou reproduzam os processos naturais do ciclo hidrológico, com uso de técnicas de infiltração, armazenamento, detenção e retenção das águas pluviais aplicadas em microescala, favorecendo a redução de áreas impermeáveis e o aumento da extensão e do tempo de percurso do escoamento. Quando avaliadas em larga escala, tais sistemas harmonizam as respostas ecológicas de uma bacia hidrográfica, visto que são mantidos importantes parâmetros hidrológicos do período anterior à urbanização, por meio da redução de áreas impermeáveis, aumento do tempo de concentração da bacia e diminuição do volume escoado superficialmente (LINDOSO; BUCHER, 2014).

Bahiense (2013) consolidou em um diagrama (Figura 2) os principais elementos que caracterizam o conceito LID.

Figura 2 - Elementos-chave do LID



Fonte: Bahiense (2013).

De forma geral, os princípios da abordagem LID são (PGCo, 1999; USDoD, 2004):

- integrar as estratégias de gerenciamento das águas pluviais na fase inicial do planejamento e *design* da área de interesse;
- gerenciar os escoamentos superficiais o mais próximo de sua origem ou na fonte por meio da distribuição de práticas de microescala;
- promover um ambiente mais sustentável;
- resgatar funções hidrológicas naturais;
- concentrar na prevenção ao invés de mitigação e remediação;
- reduzir os custos de construção e manutenção dos sistemas de águas pluviais;
- capacitar as comunidades para promover a proteção ambiental com educação ambiental e gestão participativa.

A abordagem LID, adaptada para a realidade de outros países, evoluiu para SUDS – *Sustainable Urban Development System* (Sistema Sustentável de Drenagem Urbana) no Reino Unido, LIUDD – *Low Impact Urban Design and Development* (Projeto e Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto) e na Nova Zelândia, e WSUD - *Water Sensitive Urban Design* (Projeto Urbano Sensível às Águas) na Austrália (FLETCHER *et al.*, 2015).

No SUDS, os sistemas de drenagem são projetados para maximizar as oportunidades e benefícios obtidos a partir da gestão das águas pluviais. Segundo Bahiense (2013), o conceito de desenvolvimento sustentável é concebido durante o planejamento da drenagem urbana e garante que os impactos sobre a bacia não sejam transferidos no espaço e no tempo. Tal como

no LID, os projetos SUDS buscam reduzir os escoamentos superficiais por meio de dispositivos de controle da água pluvial na fonte, o que acarreta na diminuição da necessidade de grandes estruturas de atenuação e controle na calha dos rios. De acordo com o Manual do SUDS (CIRIA, 2015), os quatro pilares desta abordagem são:

1. quantidade de água: controlar a quantidade do escoamento superficial para reduzir o risco de inundações e manter/proteger o ciclo hidrológico natural;
2. qualidade da água: gerenciar a qualidade do escoamento superficial para evitar a poluição;
3. amenidade: criar espaços mais agradáveis para a comunidade;
4. biodiversidade: ampliar espaços para o desenvolvimento da natureza.

A abordagem LIUDD baseia-se na gestão local das águas, com inclusão da comunidade nos processos de tomada de decisão e disseminação de políticas de disseminação de hábitos pessoais que possam reduzir a pressão sobre a água enquanto recurso natural (VAN ROON, 2006). Amaral (2014) destaca que os projetos LIUDD visam à redução e contenção de contaminantes, restaurar, melhorar e proteger a população nativa (de valor social, cultural e histórico) e a biodiversidade, além de reduzir as necessidades de mobilidade (pessoas e materiais).

A terminologia WSUD é a mais nova dentre as apresentadas anteriormente, tendo origem na década de 90 na Austrália. No seu contexto mais amplo, o WSUD representa a gestão integrada das águas urbanas (abastecimento, águas residuais, pluviais, superficiais e subterrâneas), e traz consigo a preocupação com a água durante todo o seu ciclo de forma a garantir a quantidade de água essencial para as atividades econômicas, melhorar e proteger os sistemas naturais de drenagem, reduzir os riscos de inundação e criar espaços públicos voltados para tratamento e reúso da água. Além disso, a gestão das águas apresenta todos os níveis de governança, ou seja, comunidade, instituição e governo.

Os objetivos gerais do WSUD incluem (AUSTRALIA, 2009):

- reduzir a demanda de água potável com aumento da eficiência dos sistemas de abastecimento e uso de fontes alternativas;
- reduzir a geração de águas residuais e aumentar a eficiência dos sistemas de tratamento, visando sua reutilização;
- promover o tratamento das águas pluviais para seu aproveitamento;

- restaurar e preservar o regime hidrológico natural das bacias hidrográficas;
- melhorar a qualidade dos canais fluviais;
- promover um grau de autossuficiência da água no contexto de desenvolvimento, de modo a otimizar o uso de fontes para minimizar as entradas e saídas de determinados sistemas, tanto das águas pluviais quanto das residuais.

1.2.3 Técnicas Compensatórias de drenagem urbana

Tendo em vista a necessidade de soluções mais eficientes e sustentáveis, os projetos de drenagem urbana, baseados nos conceitos anteriormente descritos, têm incorporado um conjunto de técnicas aplicadas na escala do lote, de forma descentralizada na bacia hidrográfica. Tais medidas, também denominadas técnicas compensatórias, buscam a representação das condições hidrológicas naturais das bacias por meio do emprego de princípios de conservação, armazenamento (retenção e detenção) e infiltração. Além disso, controlam os escoamentos superficiais mais próximos do seu local de origem, e dispensam, desta forma, a ideia de rápido afastamento como ocorre nas soluções convencionais. Assim, tais medidas permitem estabelecer condições que aumentem o tempo de concentração da precipitação efetiva na bacia com o objetivo de não transferir os problemas para jusante.

Segundo Fletcher *et al*. (2015), para compensar os efeitos negativos da urbanização, o objetivo principal das técnicas utilizadas é reduzir o volume escoado superficialmente e as vazões de pico, de maneira que possam reduzir a vulnerabilidade das áreas urbanas às inundações, e, em menor grau, proteger a qualidade dos ambientes receptores.

As principais técnicas compensatórias utilizadas nos projetos de drenagem urbana são (US EPA, 2000; RIGHETTO, 2009; ROSSMAN, 2015):

- Pavimentos Permeáveis: áreas escavadas preenchidas com cascalho e revestidas com blocos de concreto poroso pré-moldados, sendo os espaços vazios preenchidos com material granular ou grama. Em determinadas condições, os pavimentos permeáveis ajudam a reduzir o volume do escoamento superficial e promovem a remoção de poluentes e recarga de água subterrânea;
- Telhados Verdes: consistem de cobertura vegetal (plantas de pequeno e grande porte) instalada sobre lajes ou telhados convencionais, que considera uma camada

impermeabilizante e um material especial de drenagem abaixo da camada de solo. Esses telhados auxiliam na redução do volume de escoamento pelo aumento de área verde e evapotranspiração à medida que se relacionado com a capacidade de infiltração da área de captação, além de proporcionar conforto térmico e melhoria da qualidade do ar;

- Trincheiras de Infiltração: são consideradas valas estreitas e longitudinais preenchidas com cascalho, que fornecem o volume de armazenamento e o tempo adicional para o escoamento interceptado infiltrar no solo;
- Células de Biorretenção: depressões que contêm vegetação cultivada em uma mistura de solo colocada acima de uma camada de drenagem feita de cascalho. Nestes sistemas, a atividade biológica promove a filtragem das águas. Além disso, propiciam o armazenamento, infiltração e evaporação da chuva que cai diretamente nesta área e do escoamento superficial de áreas vizinhas;
- Jardins de Chuva: sistemas semelhantes às células de biorretenção, porém não possuem a camada de cascalho abaixo da mistura de solo;
- Barris de chuva e cisternas: os barris de chuva são reservatórios posicionados na área externa das edificações que coletam o escoamento gerado pelos telhados durante eventos de chuva, podendo liberar ou reutilizar a água da chuva durante períodos de seca. As cisternas possuem a mesma função, porém apresentam volumes maiores de armazenamento e estão localizados sob o solo, podendo acumular também as águas pluviais escoadas pelo lote.

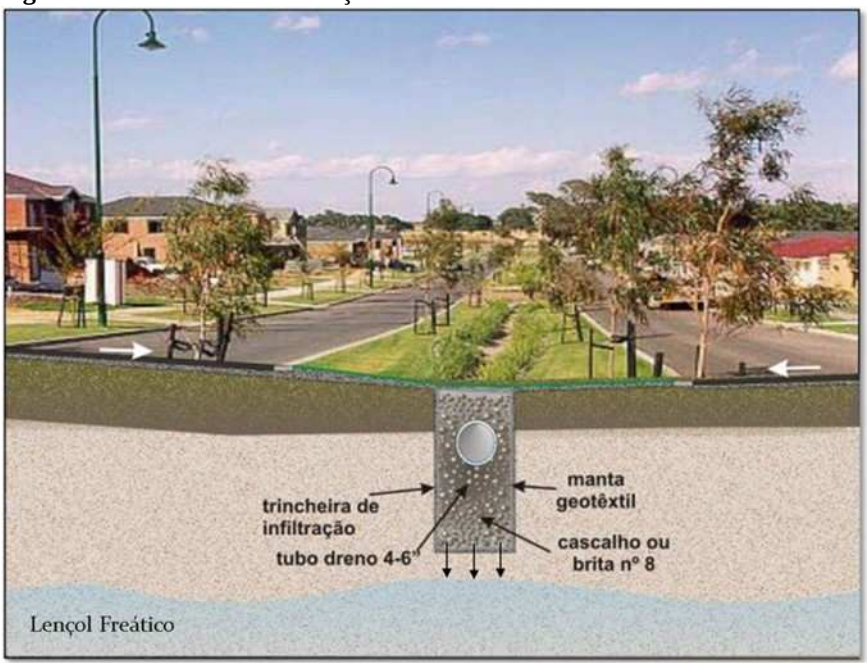
Apesar dos múltiplos benefícios oferecidos pelas técnicas compensatórias ao meio socioambiental, a manutenção destes sistemas se torna fundamental para garantia de suas funções. Caso não haja os devidos reparos, o acúmulo de sedimentos pode acarretar na colmatação (deposição/acúmulo de partículas sólidas) da estrutura e, consequentemente, na obstrução do dispositivo de drenagem.

A seguir é feita uma descrição da estrutura e funcionamento das trincheiras de infiltração e pavimentos permeáveis, utilizados neste trabalho como dispositivos capazes de reduzir o escoamento superficial no Parque Ary Barroso, e dos sistemas de armazenamentos de águas pluviais (reservatórios), avaliado neste estudo como sendo uma alternativa de uso não potável no Parque.

1.2.3.1 Trincheira de Infiltração

As trincheiras de infiltração representam uma técnica linear na qual a dimensão do comprimento é superior às de largura e profundidade, e são projetadas ao longo de superfícies impermeáveis destinadas a amortecer os volumes superficiais (MELO *et al*., 2016). A Figura 3 ilustra um esquema típico de trincheira de infiltração, composta pelas seguintes camadas: manta geotêxtil, material granular (cascalho ou brita) e dispositivo de drenagem.

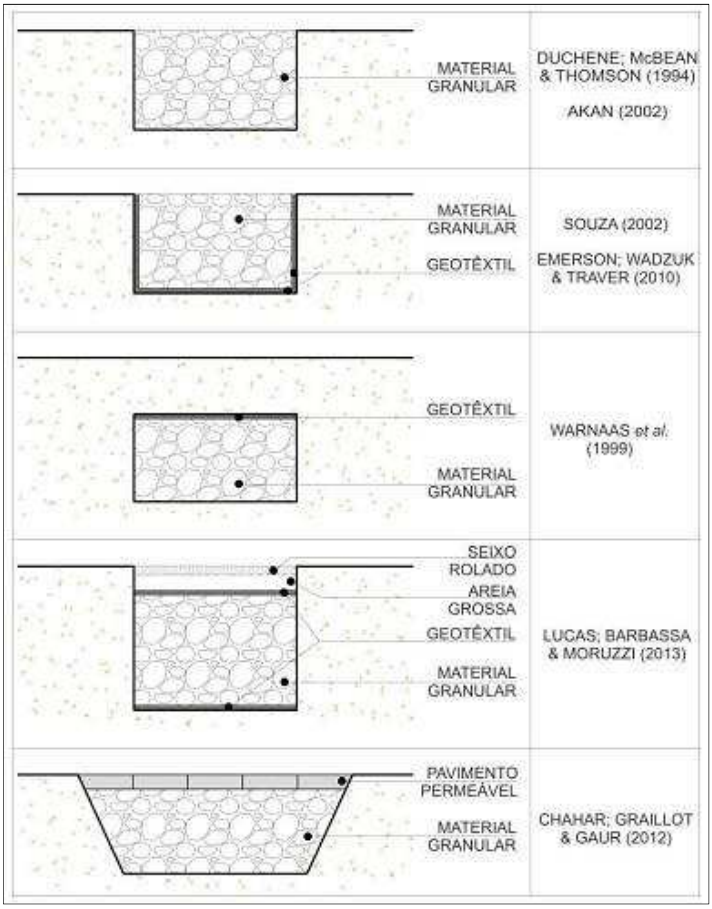
Figura 3 - Trincheira de infiltração em canteiro central



Fonte: Adaptado de GEOWATER, 2009.

Geralmente, estas estruturas consistem em valas escavadas na terra com dimensões apropriadas, pouco profundas e preenchidas com material granular como brita e areia, de modo a proporcionar uma infiltração direcionada das águas superficiais no solo. Além disso, torna-se necessário a presença de manta geotêxtil entre o solo e material granular e, entre a superfície e a trincheira, para evitar o processo de colmatação e a presença de elementos contaminantes. Tais dispositivos de infiltração podem ser superficiais ou enterrados, com possibilidade de formatos geométricos distintos, conforme apresentado na Figura 4 (MELO *et al.*, 2016).

Figura 4 - Perfis de trincheira de infiltração adotadas na literatura



Fonte: Adaptado de Melo *et al*. (2016).

O planejamento de locação da trincheira de infiltração deve considerar, dentre outros fatores, a inclinação do terreno, os fluxos de água, tipo do solo e nível do lençol freático. A consideração destes fatores auxiliam na melhor performance destes dispositivos que visam estabelecer, em parte, a infiltração das águas pluviais, componente do ciclo hidrológico que torna-se comprometido devido à impermeabilização da superfície dos solos das áreas urbanas. Desta forma, sua principal vantagem está relacionada com a redução do volume escoado superficialmente, com auxílio na redução dos impactos das inundações (GRACIOSA *et al*., 2008).

1.2.3.2 Pavimento Permeável

O pavimento permeável, ou pavimento poroso, representa outro tipo de dispositivo de controle dos escoamentos superficiais na fonte e tem como objetivo a infiltração e/ou

armazenamento da água (CASTRO *et al*., 2013). Também auxilia no controle da qualidade das águas pluviais já que o material que preenche o pavimento atua como filtro, de modo a reter as impurezas do volume infiltrado (BAHIENSE, 2013).

A Figura 5 apresenta a estrutura típica para assentamento de pavimento constituído por concreto poroso. Logo abaixo da superfície dos blocos de concreto poroso observa-se uma camada de assentamento e rejunte constituída de agregado graúdo, que se sobrepõe a uma camada constituída por reservatório de brita, onde está localizado o dispositivo de drenagem. A manta impermeável localizada abaixo do reservatório do pavimento direciona a água para o tubo de drenagem. Entretanto, pode-se considerar também o pavimento com infiltração total no solo, dispensando-se, nesse caso, a presença da manta impermeável. Além de blocos de concreto poroso, a superfície do pavimento pode ser constituída também por asfalto poroso, blocos de concreto vazado, e blocos de concreto e paralelepípedo.

Figura 5 - Pavimento permeável: sistema revestido com peças intertravadas de concreto poroso.

Fonte: Adaptado de Corsini, 2014.

Além do dimensionamento hidráulico, que mensura o volume de água a ser recebido e define os níveis de infiltração, os pavimentos são preparados para suportar certos tipos de carga mecânica, tais como veículos leves em áreas de estacionamento (CORSINI, 2014).

Como destacado por Righetto (2009), o pavimento permeável exige manutenção periódica para retirada do sedimento fino acumulado na superfície (espaços entre os blocos), que dificulta ou prejudica a infiltração. A retirada destas partículas pode ser feita por jateamento ou varredura a vácuo.

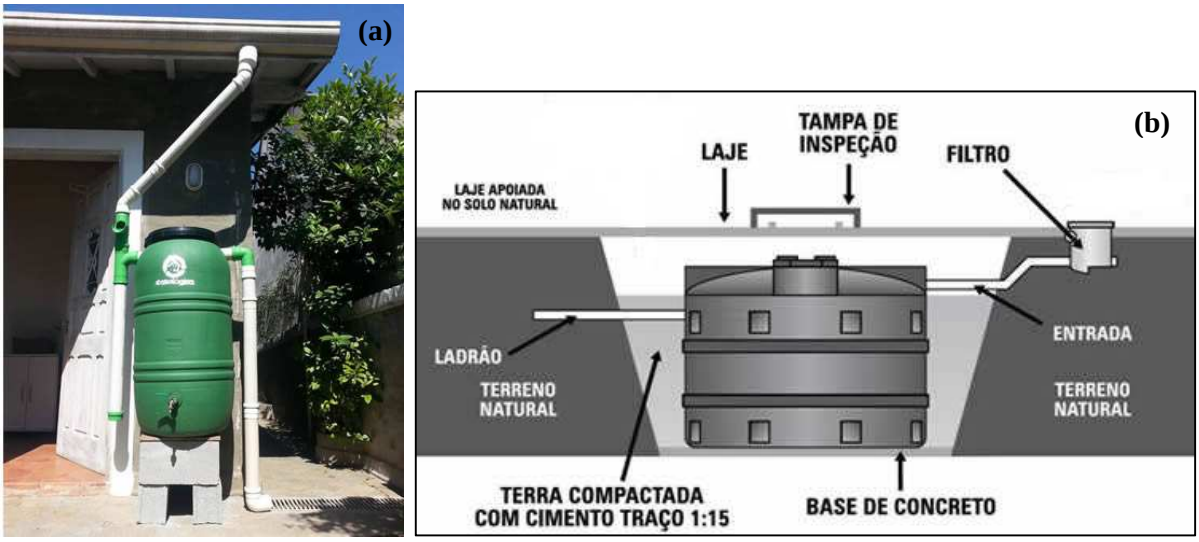
Assim como nas trincheiras de infiltração, a implantação de pavimentos permeáveis deve considerar o tipo de solo, principalmente sua permeabilidade e nível do lençol freático, além da correta implantação e construção de suas estruturas.

1.2.3.3 Reservatório de Águas Pluviais

Os reservatórios de águas pluviais são dispositivos de controle aplicados na escala do lote, e têm como principal efeito a retenção de parte do volume do escoamento superficial, como medida para reduzir seu pico e distribuir a vazão no tempo (TAVANTI, 2009). A água armazenada pode ser aproveitada para fins não potáveis, como irrigação de jardins e lavagem de superfícies ou automóveis, como também para abastecimento, após o devido tratamento. Além disso, tais dispositivos são particularmente aplicados em áreas com média ou alta densidade populacional, onde os telhados são os principais responsáveis pela produção de escoamento superficial, ou de forma semelhante às estradas, rodovias e calçadas (FORGIARINI, 2010).

Estes reservatórios podem estar localizados na superfície do terreno (barris de chuva) ou podem estar enterrados (cisternas), conforme a Figura 6. De forma geral, os telhados das edificações são conectados aos reservatórios por meio de calhas e condutores verticais e horizontais. Nos barris de chuva a água armazenada é retirada com auxílio de uma torneira, localizada no fundo do reservatório. Já nas cisternas, estruturas mais robustas, outros dispositivos são necessários como bomba de sucção e recalque (para retirada e elevação da água), ladrão (sistema de descarte do excesso de água) e tampa de inspeção. Além disso, tanto os barris de chuva quanto as cisternas podem possuir um sistema de filtro, e estarem conectados ou não à rede pública de drenagem.

Figura 6 -Reservatórios de águas pluviais



Legenda: (a) Barril de chuva; (b) cisterna.

Fonte: (a) Adaptado do *site Ecycle*; (b) Adaptado do *site* Snatural.

1.3 Parques Urbanos

1.3.1 Histórico e Definições

A partir da segunda metade do século XX, a preocupação com o meio ambiente ganhou força na esfera global, sobretudo as questões relacionadas com escassez dos recursos naturais, poluição e saneamento. A partir da Revolução Industrial, o processo de urbanização ocorreu de forma acelerada e desordenada, principalmente nos países em desenvolvimento, e refletiu diretamente na transformação do meio natural por meio da substituição da cobertura vegetal por áreas impermeáveis, degração dos corpos hídricos, poluição do ar, entre outros. Além disso, a disseminação de doenças de veiculação hídrica afetou drasticamente a população.

Diante deste cenário, a Organização das Nações Unidas (ONU) promoveu em 1972 a primeira conferência internacional sobre meio ambiente, Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, também conhecida como Conferência de Estocolmo, que resultou numa série de princípios e ações a serem adotados por paíseis e organizações nas decisões referentes a questões ambientais (FELDMAN, 1997). Posteriormente, em 1992, na cidade do Rio de Janeiro, foi realizada a segunda conferência internacional, Conferência das

Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a Rio-92, que buscou avaliar as ações ambientais dos países desde a Conferência de Estocolmo além de estabelecer outros mecanismos para minimizar os impactos ambientais. Já em 2012, também na cidade do Rio de Janeiro, a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável, a Rio+20, contribuiu para definir a agenda do desenvolvimento sustentável para as próximas décadas (UNITED NATIONS, 2017). Desde a Conferência de Estocolmo, diversas disposições legais, organizações e programas ambientais surgiram em todo o mundo, evidenciando a necessidade de existir uma relação harmônica entre o desenvolvimento econômico e a proteção do meio ambiente (UNICAMP, 2017).

A realização das conferências da ONU sobre o meio ambiente, bem como a disseminação do conceito de desenvolvimento sustentável[2], culminou, entre outros, na proliferação de “espaços verdes” em muitas cidades (GOMES, 2014). Desta forma, a criação de parques e áreas de conservação passou a fazer parte das agendas políticas locais. A delimitação de áreas naturais, como exemplo os parques urbanos, busca a preservação das funções ecológicas e contribuição para a qualidade de vida e equilíbrio ambiental das cidades. Segundo Feiber (2004), as áreas verdes têm como objetivo atenuar os impactos causados pela intervenção do homem sobre o meio natural além de promover benefícios para a população.

A Resolução CONAMA Nº 369 de 28 de março de 2006 (BRASIL, 2006), considera área verde de domínio público "o espaço de domínio público que desempenhe função ecológica, paisagística e recreativa, propiciando a melhoria da qualidade estética, funcional e ambiental da cidade, sendo dotado de vegetação e espaços livres de impermeabilização". Alguns exemplos de áreas verdes urbanas são: praças, jardins, parques urbanos, parques fluviais e unidades de conservação (UC).

Apesar de, atualmente, os parques urbanos terem incorporado o princípio da sustentabilidade, com preservação do meio natural existente na área, em muitos casos apresentam apenas função estética e de lazer, em virtude da insignificância do seu conteúdo natural, ou seja, são implantados em espaços vazios, com presença de espécies exóticas, configurando-se como fator de valorização do mercado mobiliário (NASCIMENTO DA SILVA, GOMES, 2010; GOMES, 2014).

No contexto internacional, inúmeros parques foram criados desde o século XIX como, por exemplo, o *Central Park*, em Nova York, e o parque La Villette, em Paris, constituindo-se

[2] Em 1987, a Comissão mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento publicou um relatório chamado Nosso Futuro Comum, conhecido também por Relatório Brundtland, que define o desenvolvimento sustentável como sendo o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das gerações futuras.

muito mais em espaços de lazer do que áreas de preservação, conforme a Figura 7. No Brasil, a criação de parques urbanos se insentificou a partir da década de 1970, com destaque para as cidades de Curitiba, São Paulo, Salvador e Ribeirão Preto (GOMES, 2014). A Figura 8 ilustra alguns parques urbanos situados em cidades brasileiras.

Figura 7 - Central Park (a) e Parque La Villette (b)

Fonte: (a) *site* Central Park Tours; (b) *site* Lavillette.

Figura 8 - Parques urbanos em cidades brasileiras

Legenda: (a) Parque Barigui – Curitiba/PR; (b) Parque Henrique Lage – Rio de Janeiro/RJ; (c) Parque da Cidade Joventino Silva – Salvador/BA; (d) Parque Ibirapuera – São Paulo/SP.
Fonte: (a) *site* da Prefeitura de Curitiba; (b) *site* visit.rio; (c) *site* Guia do Esporte; (d) *site* do Parque Ibirapuera.

1.3.2 Funções

Com a evolução da história da sociedade, os parques urbanos passaram a incorporar novos conceitos e funções. Segundo Scocuglia (2009), os primeiros parques urbanos surgiram paralelamente à formação das cidades no final do século XVIII, sendo o seu apogeu nas décadas de 1850 e 1860, na Europa e nos Estados Unidos. Nesta época, estes espaços eram voltados à contemplação, sendo criados com uma visão romântica e remetendo a campos bucólicos, típico da sociedade europeia do século XIX. Posteriormente, nas décadas de 1930 e 1940, período marcado pela linha moderna de pensamento, as atividades recreativas e culturais passaram a ser incorporadas, além da sobrevalorização da vegetação nativa (SILVA; PASQUALETTO, 2013). Já a partir da década de 1970, com início das discussões ambientais, os parques assumem também a função de conservação dos recursos naturais. Scalise (2002) afirma que o parque do século XX busca novos espaços verdes para preservar/recriar as condições naturais anteriores à urbanização, além de expressar locais de socialização.

Atualmente, os parques urbanos são estrategicamente constituídos de modo a melhorar a qualidade de vida do entorno já que prestam serviços ambientais à população, como na: estabilização do microclima, redução da poluição sonora e radiação solar. Além disso, os parques urbanos promovem benefícios na saúde mental e física, e, em alguns casos, possuem caráter de proteção ambiental (FEIBER, 2004; CARDOSO *et al*., 2015). O Quadro 4 consolida as principais funções que os parques proporcionam no ambiente urbano.

Quadro 4 - Principais funções dos parques urbanos

	Funções dos parques no ambiente urbano	
	Valor	**Funções**
Componentes do Ambiente Urbano	Ecológico	- Recarga de aquíferos - Controle de emissão de partículas - Habitat de flora e fauna - Biodiversidade - Absorção de ruído - Microclima
	Paisagem Arquitetônica	- Quebra visual - Redução do brilho e reflexo do sol - Propicia elementos harmonizantes e de transição - Melhora a fisionomia do lugar
	Socioeconômico	- Desenvolvimento de atividades recreativas - Realização de atividades esportivas e culturais - Permite realizar educação ambiental - Oferece conforto mental - Agradável momento de descanso - Modera o estresse oferecendo saúde física e mental - Disponibiliza emprego - Oferece bens materiais - Fomenta a convivência comunitária - Aumenta o preço das propriedades (valorização dos imóveis do entorno)

Fonte: Adaptado de Corona (2002) *apud* Oliveira e Bitar (2009).

Para garantir a funcionalidade dos parques urbanos é imprescindível o monitoramento contínuo de todas as unidades estabelecidades nesse espaço. Segundo Araújo (2004), a gestão dos parques nas cidades brasileiras sempre esteve voltada para o manejo dos recursos naturais, e pouca atenção é dada aos aspectos organizacionais. Oliveira e Bitar (2009) desenvolveram um sistema de indicadores ambientais para monitoramento de parques urbanos e aplicaram em três parques de São Paulo. Os resultados obtidos revelaram que devido à ausência de dados, alguns indicadores não puderam ser computados, tais como dados diários de visitação e número/identificação de permissionários. Este fato evidencia a necessidade do acompanhamento contínuo de todas as questões relativas aos parques urbanos, de forma a garantir e melhorar todos os benefícios oferecidos por esses espaços.

1.3.3 Aplicação de Técnicas Compensatórias nos Parque Urbanos

Alguns projetos de implantação de novas áreas verdes no ambiente urbano, bem como intervenções paisagísticas para requalificação destes espaços, têm incluído o uso de técnicas compensatórias de drenagem urbana como alternativa para reduzir o escoamento superficial destas áreas para a rede de águas pluviais existentes, contribuindo para o amortecimento das cheias (OLIVEIRA *et al*., 2016). A implantação de técnicas compensatórias em parques urbanos pode contribuir também para a redução do consumo de água não potável, por meio do aproveitamento das águas pluvias, quando inseridos reservatórios de armazenamento. O Parque Chico Mendes, localizado na cidade de Itu – SP, tem utilizado o volume de água de chuva armazenado para rega de plantas, limpeza interna e de banheiros, cuja economia é observada na redução do uso da água do abastecimento público (PREFEITURA DE ITU, 2016).

Foram identificados alguns trabalhos na literatura que avaliaram a implantação de técnicas compensatórias em parques urbanos visando à redução do escoamento superficial. Como exemplo, destaca-se o estudo de Santos *et al*. (2015), que avaliaram a eficiência das calçadas ecológicas, compostas por pavimentos intertravados, no Parque Municipal Flamboyant, em Goiânia, e o de Oliveira *et al*. (2016), que realizaram um levantamento das técnicas compensatórias utilizadas nos projetos paisagísticos das áreas verdes da cidade de Guarulhos – SP. Neste último estudo, especificamento no Parque Municipal Bosque Maia foram utilizados poços, valas de infiltração e pavimentos permeáveis.

1.4 Normas e Legislações Aplicadas ao Aproveitamento das Águas Pluviais e Redução do Escoamento Superficial

No Brasil, existem apenas duas normas técnicas que tratam do sistema de aproveitamento de águas pluviais. São elas: a NBR 15527 (ABNT, 2007) (Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos) e a NBR 10844 (ABNT, 1989) (Instalações prediais de águas pluviais).

A NBR 15527 (ABNT, 2007) apresenta os requisitos necessários para implantação e dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis como, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, limpeza de calçadas e ruas, e lavagem de veículos. Os principais dispositivos que integram este tipo de sistema são destacados juntamente com as condições adequadas de instalação. No caso de usos não potáveis mais restritivos, o projetista poderá tomar como base os valores dos parâmetros de qualidade de água de chuva listados na norma. Além disso, a frequência de manutenção do sistema varia para cada dispotivo, tratando-se de inspeção, limpeza e/ou desinfecção. Por fim, o anexo da NBR 15527 (ABNT, 2007) consta de seis metodologias de dimensionamento dos reservatórios de armazenamento das águas pluviais, conforme será descrito no item 2.4 deste trabalho.

Já a NBR 10844 (ABNT, 1989) trata especificamente da drenagem de águas pluviais em coberturas e demais áreas associadas ao edifício, tais como terraços, pátios, quintais e outros. A instalação predial de águas pluviais se destina exclusivamente ao recolhimento e condução das águas pluviais, sem que haja interligações com outras instalações prediais. Desta forma, nesta norma também são apresentadas as principais estruturas que compõem o sistema de drenagem das edificações com apresentação de recomendações de instalação dos dispositivos e sugestão de metodologias de dimensionamento.

Apesar de não existirem leis nacionais que estabeleçam diretrizes para a instalação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, existe um Projeto de Lei – PL Nº 7.818 (BRASIL, 2014) para criação da Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais, cujos objetivos são entre outros: a conservação e uso racional da água, a promoção da qualidade ambiental e do manejo adequado das águas pluviais e o estímulo econômico para captação, armazenamento e aproveitamento das águas pluviais. Conforme consta no Relatório deste PL, estarão sujeitos a implantar o sistema de

captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais, as edificações e empreendimentos (situados em área urbana ou rural) que:

> [...] provoquem a impermeabilização do solo em área superior a mil metros quadrados, bem como empreendimentos que envolvam parcelamento do solo para fins urbanos e condomínios implantados em Município com mais de cem mil habitantes, com histórico de problemas de enchentes associadas à excessiva impermeabilização do solo, que integrem região metropolitana ou aglomeração urbana e com histórico de seca. Também deverão implantar esse sistema as edificações que tenham consumo de volume igual ou superior a vinte mil litros de água por dia e os edifícios e empreendimentos públicos.

Além disso, os municípios com população superior a cem mil habitantes deverão elaborar o plano de manejo e drenagem das águas pluviais em conformidade com o plano da bacia hidrográfica o qual está inserido. Ressalta-se também que o PL Nº 7.818 (BRASIL, 2014) estabelece que o armazenamento e destino final das águas pluviais e das águas pluviais servidas devem ser distintos, sendo que, para essse último caso, as águas devem ser direcionadas à rede coletora de esgoto.

Sendo assim, além de ter por objetivo o uso racional dos recursos hídricos, por meio do aproveitamento das águas pluviais, o PL Nº 7.818 visa também à redução do escoamento superficial em locais onde a rede de drenagem é insuficiente. Neste contexto, destacam-se as Leis Estaduais de Nº 7463 (RIO DE JANEIRO, 2016) e Nº 12.526 (SÃO PAULO, 2007), que estabelecem, respectivamente, procedimentos para armazenamento das águas pluviais e águas cinzas[3] para reaproveitamento e retardo da descarga na rede pública e normas para a contenção das enchentes e destinação das águas pluviais. Tais leis determinam que as edificações com área impermeabilizada superior a quinhentos metros quadrados deverão ser dotadas de sistemas de captação e de armazenamento das águas pluviais. Ressalta-se que a Lei Nº 7463 estabelece que os reservatórios de águas pluviais terão por finalidade o armazenamento da água para fins não potáveis enquanto que os reservatórios de águas cinzas serão de retardo, tendo como destino a rede pública de águas pluviais.

Como Projeto de Lei em nível estadual, destaca-se o de Nº 1.621 (MINAS GERAIS, 2015), que objetiva criar o Programa de Captação de Água de Chuva para áreas impermeabilizadas superiores a quinhentos metros quadrados e apresenta os seguintes objetivos:

> I. Reduzir a velocidade de escoamento de águas pluviais para as bacias hidrográficas em áreas urbanas com alto coeficiente de impermeabilização do solo e dificuldade de drenagem;

[3] Entende-se por água cinza a proveniente dos chuveiros, banheiras, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupa (RIO DE JANEIRO, 2016).

II. Controlar a ocorrência de inundações, amortecer e minimizar os problemas das vazões de cheias e, consequentemente, a extensão dos prejuízos;
III. Contribuir para a redução do consumo e o uso adequado da água potável tratada.

Na esfera municipal, foram identificados: Lei Nº 10.785 (CURITIBA, 2003), que cria o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE que institui medidas de conservação da água e uso racional, e utilização de fontes alternativas para captação de águas nas novas edificações; Lei Nº 7.863 (SALVADOR, 2010), que estabelece a obrigatoriedade do armazenamento e reuso das águas pluviais nas coberturas dos empreendimentos pluridomiciliares e comerciais, além da captação, armazenamento e reuso das águas cinzas; e o Decreto Nº 15.371 (PORTO ALEGRE, 2006), que considera a prevenção das inundações devido à impermeabilização do solo e canalização dos cursos d'águas naturais e estabelece, sobretudo, que "toda ocupação que resulte em superfície impermeável deverá possuir uma vazão máxima específica de saída para a rede pública de pluviais igual a 20,8 l/(s.ha).

Apesar do conceito de sustentabilidade dos recursos hídricos, principalmente as questões referentes à conservação e uso racional, estarem cada vez mais difundindos na sociedade, as leis e decretos apresentados tratam de forma genérica os programas de aproveitamento das águas pluviais para fins não potáveis, com ausência de orientação técnica de modo a permitir de forma adequada o uso das águas pluviais. Desta forma, aponta-se a carência de normas técnicas e orientações específicas, elaboradas com base nas diretrizes internacionais, como a da Organização Mundial da Saúde – *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and Greywater* (WHO, 2006), e da Agência Americana de Proteção Ambiental – *Guidelines for Water Reuse* (EPA, 2012).

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da Área de Estudo

2.1.1 Breve Histórico do Parque Ary Barroso

Inicialmente, as áreas do Parque Ary Barroso foram adquiridas pelo empreendedor português Francisco Lobo Júnior, em 1868, conhecido por ser um incentivador do desenvolvimento da região. A construção do parque, com o plantio de 130 mudas de diversas espécies, iniciou-se no ano de 1963, finalizado e entregue em 1964, ocupando cerca de 50.000 m² de área no bairro Penha Circular (INEPAC, 2017).

Conforme o decreto estadual 857 de 08/10/1965 (INEPAC, 1965), o parque tem administração municipal e é tombado, dado a sua relevância histórica para a cidade do Rio de Janeiro, sendo o primeiro parque implantado no subúrbio carioca.

Em junho de 2012, inaugurou-se um espaço cultural denominado Arena Dicró, da Prefeitura do Rio de Janeiro, gerenciado pela Secretaria Municipal de Cultura, em conjunto com a Organização da Sociedade Civil Observatório de Favelas do Rio de Janeiro[4].

Atualmente, além do espaço cultural e de lazer para a população, o parque abriga uma Unidade de Polícia Pacificadora (UPP) e uma Unidade de Pronto Atendimento (UPA).

2.1.2 Localização do Parque Ary Barroso

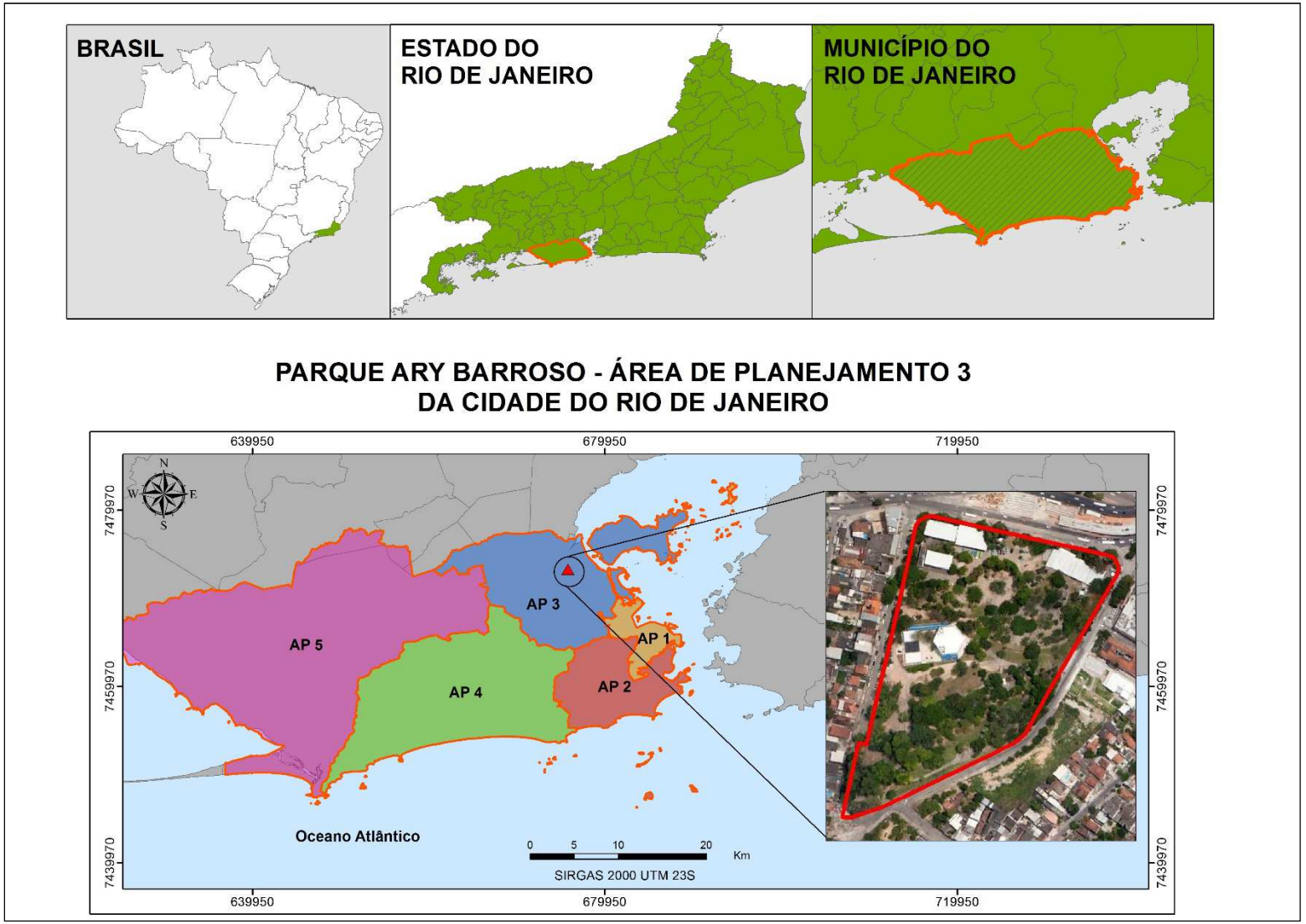
A área de estudo está situada na Penha Circular, zona norte da cidade do Rio de Janeiro, próxima à coordenada de referência 22º50’21.10” de latitude sul e 43º17’12.52” de longitude oeste. A Penha Circular é um bairro carioca com 462,34 ha e conta com uma população de 47.816 habitantes[5].

De acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro, definido na lei complementar nº 111 de 1º de fevereiro de 2011 (RIO DE

[4] Site da Arena Carioca Dicró. Disponível em: http://arenacariocadicro.org.br/. Acesso em 05/08/2017.
[5] Site da Prefeitura do Rio de Janeiro. Disponível em: http://portalgeo.rio.rj.gov.br/bairroscariocas/index_bairro.htm. Acesso em 05/08/2017.

JANEIRO, 2011), o local objeto de estudo está inserido na Área de Planejamento 3 (AP 3), localizado na Região Administrativa XI – Penha, e abrange os bairros da Penha, Penha Circular e Brás de Pina. A Figura 9 apresenta a localização do parque na AP 3.

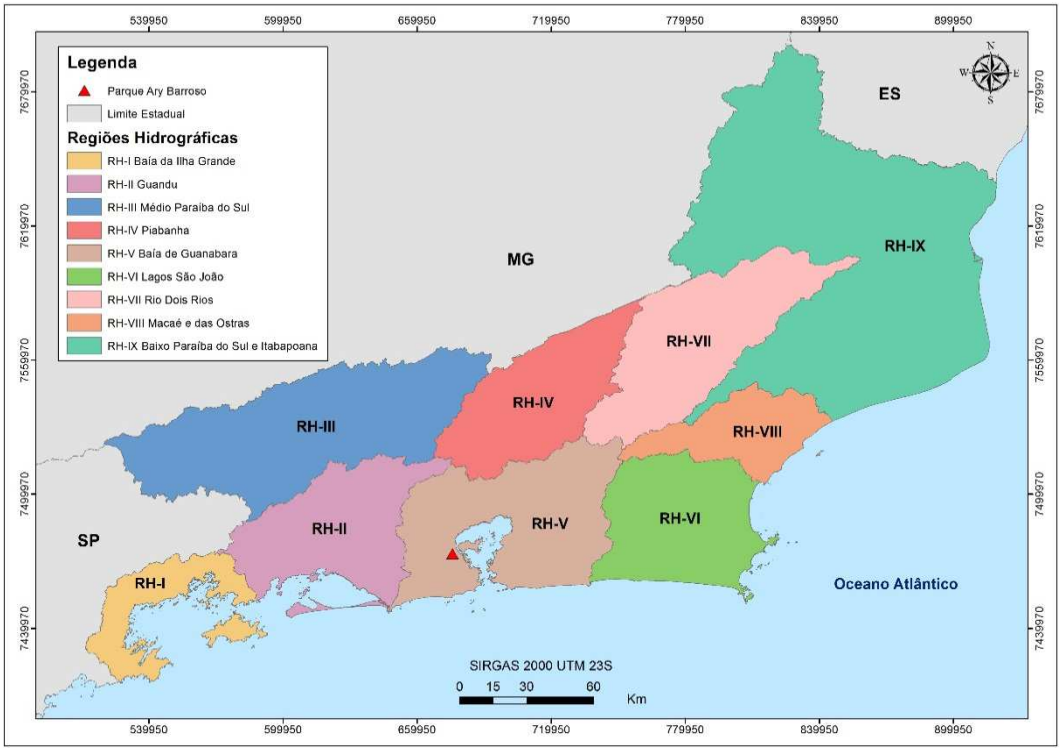
Figura 9 - Localização do Parque Ary Barroso



Fonte: Adaptado de PORTAL GEO-RIO, 2017.

O local de estudo está inserido na Região Hidrográfica V - Baía de Guanabara (RH V), de acordo com a Resolução CERHI-RJ Nº 107, de 22 de maio de 2013 (CERHI/RJ, 2013), que aprova nova definição das regiões hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. A RH V conta com diversos cursos d'água em nível avançado de degradação ambiental, fato diretamente relacionado ao grande adensamento populacional da região metropolitana (INEA, 2017). Segundo a Base Hidrográfica IBGE/SEA na escala de 1:25.000, o curso d'água mais próximo do local de estudo é o Rio Escorremão, da microbacia do Rio Irajá, distante aproximadamente 600 metros do Parque. A localização do Parque Urbano em relação às Regiões Hidrográficas está apresentada na Figura 10.

Figura 10 - Localização do Parque Ary Barroso (RH V)



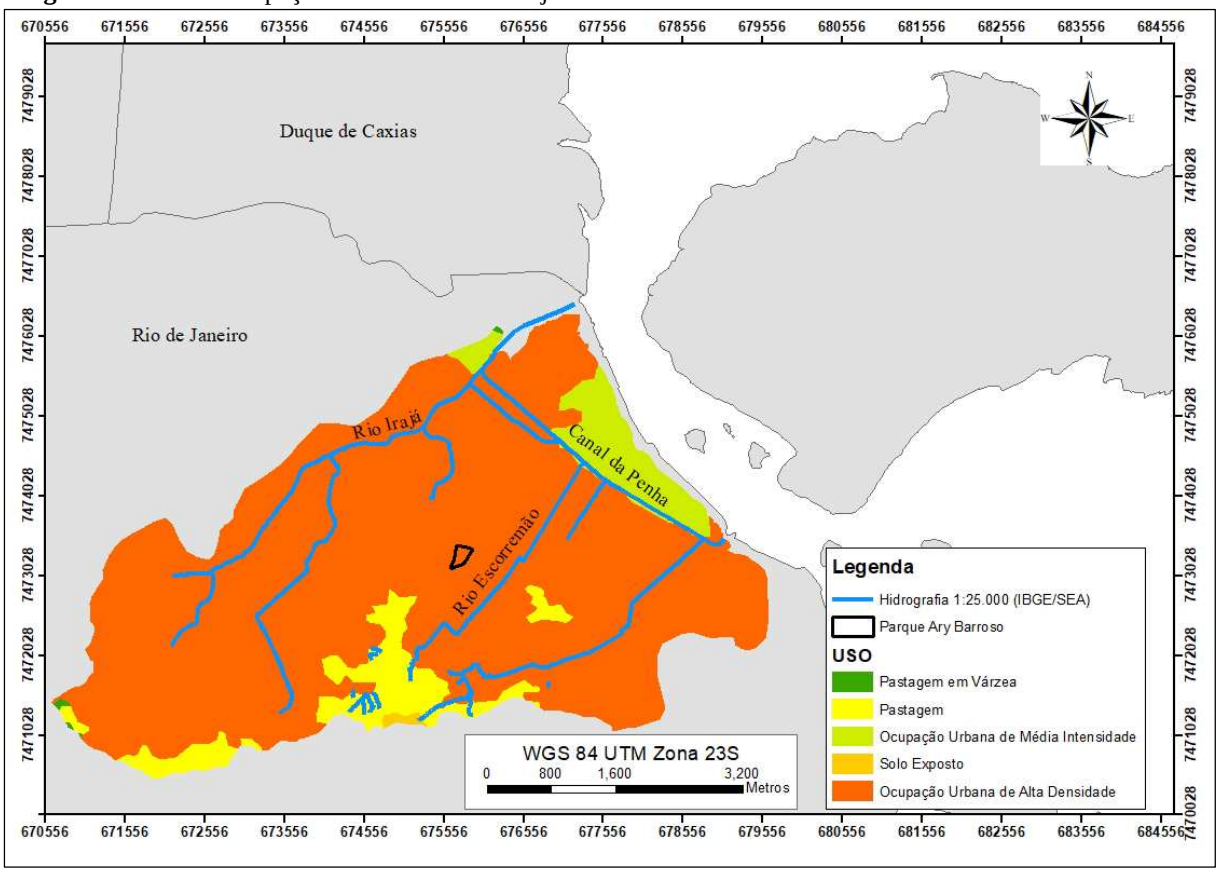
Fonte: O Autor, 2017.

A bacia do Rio Irajá, delimitada a partir das bases hidrográfica e topográfica de 1:25.000 (IBGE/SEA), onde está inserido o local de estudo, conta com uma área de drenagem de aproximadamente 30,0 km².

Para realizar o estudo de uso e ocupação do solo da bacia, foram utilizadas as imagens de satélite fornecidas pelo *Google Earth*, além de usar a base de uso e ocupação do solo

utilizada pelo INEA, obtida por meio do site do INEA[6]. O resultado deste estudo está apresentado na Figura 11. Trata-se de uma bacia ocupada quase em sua totalidade de área urbana e, sobretudo, de alta densidade, com cerca de 93% da sua área de contribuição hidrológica. Esta alta ocupação representa uma elevada taxa de impermeabilidade do solo, de modo a dificultar a infiltração da água e ampliar as possibilidades de elevar os volumes de escoamento superficial na região.

Figura 11 - Uso e Ocupação da Bacia do Rio Irajá



Fonte: O Autor, 2017.

[6] Site do INEA. Disponível em: http://200.20.53.3:8081/Portal/MegaDropDown/Monitoramento/Coberturavegetaleusodaterra/index.htm&lang=PT-BR. Acesso em 05/08/2017.

2.1.3 Clima

Conforme Câmara *et. al.* (2009), a cidade do Rio de Janeiro é caracterizada pelo clima tropical úmido e quente, com temperaturas médias entre 20 ºC e 27 ºC, e máximas de até 40 ºC no verão e, nas noites de inverno, a temperatura pode chegar a 15 ºC.

Quanto à ocorrência de chuvas, a frequência é maior entre dezembro e março, no verão, enquanto o período mais seco, compreende os meses de junho a setembro. A precipitação média anual na região da Penha é de 870 mm (DERECZYNSKI, 2009).

2.2 Dados Pluviométricos

Os dados de chuva utilizados no trabalho foram obtidos por meio do Sistema Alerta Rio, da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (ALERTA RIO, 2017), cuja estação de referência é a de número 9 denominada “Penha”, com registros a cada 15 minutos. A estação conta com registros históricos desde 1997 e para a análise e consistência dos dados foram utilizadas planilhas *MS Excel*. A série do estudo consiste dos anos entre 1997 e 2016.

Os dados de 15 em 15 minutos foram transformados em totais precipitados diários e, posteriormente, acumulados mensalmente, a fim de atender aos objetivos referentes à verificação do dimensionamento do reservatório de água de chuva e ao aproveitamento de águas pluviais.

Como forma de auxílio e verificação dos dados obtidos da estação selecionada, foram observados o histórico das estações “Irajá” e “Madureira”, ao analisar a consistência dos dados e avaliar possíveis falhas no preenchimento da estação utilizada neste trabalho (“Penha”). A Figura 12 apresenta a localização da área de estudo em relação às essas estações.

Figura 12 - Localização das estações pluviométricas do Alerta Rio

Fonte: O Autor, 2017

2.3 Demanda de Água da Arena Dicró

Para determinar a demanda de água para fins não potáveis do parque urbano, foram realizadas entrevistas com funcionários da área, sobretudo, da Arena Dicró e da Fundação Parques e Jardins, da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. O questionário elaborado e aplicado encontra-se no Apêndice A desta dissertação. Além dessas informações, foram requeridas à administração do parque as contas de água, contudo esses documentos não foram fornecidos.

Com base nas respostas do questionário e ao compatibilizar o consumo de água para cada tipologia de uso encontrado na literatura, foi estimada a demanda de água possível de ser atendida. Os tipos de uso considerados neste trabalho foram: descarga de vasos sanitários e limpeza de pátio.

Tomaz (2000) realizou diversas pesquisas referentes ao consumo de diferentes tipologias de uso da água e consistiu os valores em diferentes tabelas. O Quadro 5 apresenta as demandas teóricas dos tipos de utilização da água considerados no trabalho.

Quadro 5 - Demanda média por tipologia de uso da água

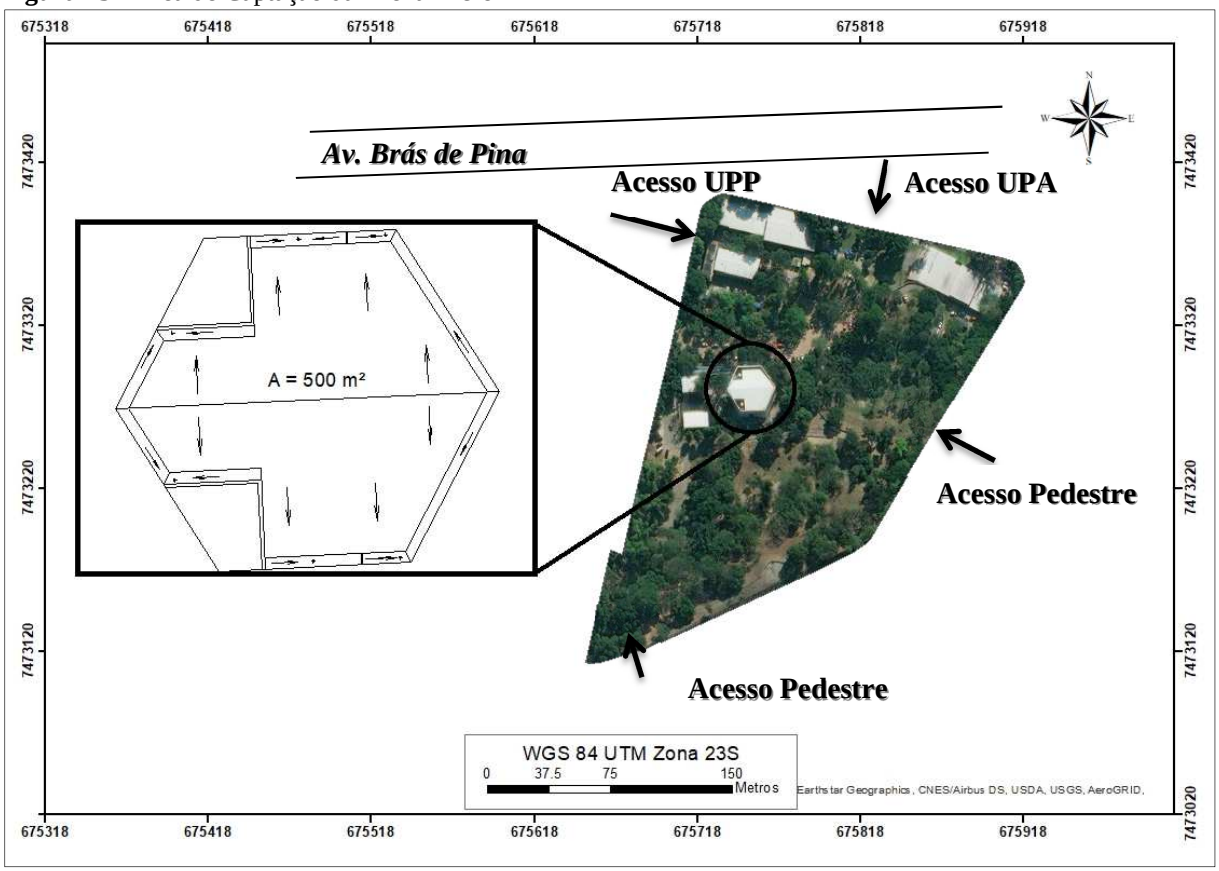
Tipologia de Uso da Água	Unidade	Faixa de Demanda (L/unidade/dia)	Valor adotado
Centro de Convenções	assentos	8	8
Lavagem de pátios e calçadas	m²	1 a 2	1,5
Parques e áreas verdes	m²	2	2
Teatros	assentos	5 a 10	8
Banheiros públicos	usuário	11 a 23	17

Fonte: Adaptado de Tomaz (2010).

2.4 Metodologias de Dimensionamento de Reservatórios para o armazenamento de Água de Chuva

O parque conta com um reservatório enterrado de 3,0 metros de largura por 3,0 metros de comprimento e 1,2 metros de profundidade, cuja área de contribuição é o telhado da Arena Dicró, com aproximadamente 500 m², conforme Figura 13.

Figura 13 - Área de Captação da Arena Dicró



Fonte: O Autor, 2017

Não foi possível obter dados da metodologia aplicada para o dimensionamento do reservatório subterrâneo instalado, de modo que este trabalho contribui por verificar se as dimensões existentes estão compatíveis com as metodologias referenciadas. Este trabalho não teve por objetivo tratar da parte qualitativa da água coletada. É, portanto, recomendado e fundamental estudos que possam aferir a qualidade da água captada e adequada aos fins sugeridos por esta dissertação.

Existem diversos métodos para calcular o volume de um reservatório de armazenamento de águas pluviais. A NBR 15527 (ABNT, 2007) apresenta um conjunto de 6 (seis) metodologias para o dimensionamento dos reservatórios em seu Anexo A. Desses métodos, foram identificados trabalhos publicados na literatura, como Amorim e Pereira (2008) e Souza (2015), que compararam os diversos métodos de dimensionamento, além de May (2004), que utilizou o método de Rippl em um trabalho de aproveitamento de águas pluviais em edificações. Tais trabalhos auxiliaram nas análises dessa dissertação.

Sendo assim, foi verificado se o reservatório existente, com um volume total de 10,8 m³, está bem dimensionado de acordo com as metodologias apresentadas a seguir.

2.4.1 Método de Rippl

Este método consiste em subtrair o volume de água que escoa pela superfície de captação é subtraído da demanda de águas pluviais para um mesmo intervalo de tempo. O volume do reservatório para 100% de confiança é a máxima diferença acumulada positiva (JOVELINO *et al.,* 2015 *apud* SCHILLER; LATHAN, 1982).

Nesta metodologia podem ser usadas as séries históricas mensais ou diárias de precipitação. Para este trabalho foram utilizados os totais mensais e avaliado mensalmente a demanda e disponibilidade hídrica, de acordo com as equações abaixo (1, 2 e 3):

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (1)$$

$$Q_{(t)} = C \times P_{(t)} \times A \quad (2)$$

$V = \sum Q_{(t)}$, para valores $S_{(t)} > 0$ (3)

Com $\sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$

Onde:

$S_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo t;

$Q_{(t)}$ = volume de chuva aproveitável no tempo t;

$D_{(t)}$ = demanda ou consumo no tempo t;

$P_{(t)}$ = precipitação no tempo t;

A = área de captação da chuva;

V = volume do reservatório;

C = coeficiente de escoamento superficial.

Foi elaborada uma planilha para facilitar na organização dos dados e nos cálculos, conforme apresentado no Quadro 1 do Apêndice B.

2.4.2 Método Azevedo Neto

Também intitulado de Método Prático Brasileiro, consiste em utilizar uma série de precipitação anual e relacionar com a quantidade de meses com pouca chuva ou seca. A metodologia não considera a influência da demanda. A série pluviométrica utilizada foi a média mensal dentre os 20 anos observados (1997 a 2016).

O volume do reservatório é calculado pela Equação 4.

$$V = 0{,}042 \times P \times A \times T \quad (4)$$

Onde:

V = volume de água do reservatório, em L;

P = precipitação média anual, em mm;

A = área de captação de chuva, em m²;

T = valor numérico dos meses de pouca chuva (seca).

2.4.3 Método prático alemão

Metodologia empírica que consiste em adotar 6% do menor valor dentre a demanda anual e o volume gerado pela precipitação média anual. A Equação 5 exprime este método:

$$V_{adotado} = \min(V; D) \times 0{,}06 \quad (5)$$

Onde:

$V_{adotado}$ = volume adotado do reservatório, em L;

V = volume de água possível de ser captado, em L. Este valor pode ser obtido a partir do produto do coeficiente de *runoff*, da precipitação média anual e da área de captação;

D = demanda anual de água não potável, em L;

2.4.4 Método prático inglês

Trata-se de um método empírico que não considera a demanda, assim como o Método Azevedo Neto. O volume do reservatório é obtido por meio da Equação 6.

$$V = 0{,}05 \times P \times A \quad (6)$$

Onde:

V = volume de água do reservatório, em L;

P = precipitação média anual, em mm;

A = área de captação das águas pluviais.

2.4.5 Método prático australiano

Nesta metodologia o volume do reservatório é determinado por tentativas, a fim de atender à demanda com confiança do sistema de armazenamento entre 90% e 99%, conforme recomendação na NBR 15527 (ABNT, 2007). Para cada mês é obtido o volume mensal produzido pela chuva, por meio da Equação 7.

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (7)$$

Onde:

A = área de captação;

C = coeficiente de *runoff*, sugerido no valor de 0,8;

P = precipitação média mensal;

I = interceptação da água nas superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2mm;

Q = volume mensal produzido pela chuva.

O cálculo do reservatório é realizado por tentativas ao se fixar valores de volume do reservatório e ao verificar mês a mês o comportamento para cada volume fixado (Equação 8), a fim de serem utilizados os valores otimizados de confiança (Equações 9 e 10) e volume do reservatório.

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (8)$$

Onde:

Q_t = volume mensal produzido pela chuva no mês t;

V_t = volume de água que está no reservatório no fim do mês t;

V_{t-1} = volume de água que está no reservatório no início do mês t;

D_t = demanda mensal.

Quando $(V_{t-1} + Q_t - D) < 0$, então $V_t = 0$

Para realizar o cálculo da confiança, deve se realizar a seguinte verificação:

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad (9)$$

Onde:

P_r = falha;

N_r = número de meses em que o reservatório não atendeu a demanda;

N = número de meses considerados, ou seja, 12 meses.

$$Confiança = 1 - P_r \quad (10)$$

Também foi elaborada uma planilha para esta metodologia de dimensionamento, apresentada no Quadro 2 do Apêndice B.

2.4.6 Método dos dias consecutivos sem chuva

Além da verificação pelos métodos da NBR 15527:2007, também foi avaliada as dimensões segundo a metodologia de "dias consecutivos sem chuva", apresentado por Group Raindrops (2002).

Este método consiste em uma análise nos registros pluviométricos de anos, preferencialmente décadas, a fim de identificar os maiores períodos de dias consecutivos sem chuva e a taxa de repetição (AMORIM; PEREIRA 2008). Para este trabalho foram utilizados os dados pluviométricos da estação Penha (ALERTA RIO, 2017), entre os anos 1997 e 2016. A metodologia considera que dias secos tem precipitação diária abaixo de 1,0 mm.

A análise de frequência foi realizada com ajuste estatístico de distribuição de frequência de Gumbel. Jacob *et al.* (2016) indica um tempo de recorrência de 10 anos para o dimensionamento de um reservatório na cidade do Rio de Janeiro e apresenta a equação (11) para determinação dos dias consecutivos sem chuva:

$$x = \bar{x} - \sigma\left\{0{,}45 + 0{,}7797 \times ln\left[ln\left(\frac{TR}{TR-1}\right)\right]\right\} \quad (11)$$

Onde:

x = dias consecutivos secos da série histórica selecionada;

$\bar{x}$ = média dos dias secos consecutivos;

σ = desvio padrão da amostra;

TR = tempo de recorrência, em anos.

Para a determinação do volume de reservatório, aplica-se a Equação 12:

$$V_{res} = Est \times D_d \quad (12)$$

Onde:

V_{res} = volume do reservatório, em m³;

Est = dias consecutivos sem chuva;

D_d = demanda diária de água para fins não potáveis, em m³.

2.5 Verificação da capacidade de armazenamento do reservatório existente no Parque

Após a verificação dos métodos apresentados de dimensionamento do reservatório de água de chuva, foi apurado o potencial do reservatório existente no Parque, com um volume de 10,8 m³, para:

1) encontrar um valor de demanda máximo a ser atendido mensalmente e;

2) atender a demanda do parque sugerida por este trabalho.

Para realizar essas verificações foi simulado mensalmente a situação do reservatório, no qual a entrada do reservatório considera a precipitação mensal interceptada e possível de ser acumulada por meio dos 500 m² da cobertura da Arena Dicró, enquanto a saída consiste na demanda mensal. Para facilitar as análises, foi elaborada uma planilha em Excel, representada pelo Quadro 3 do Apêndice B.

2.6 Cenários

Os cenários de uso e ocupação do solo propostos no Parque Ary Barroso consideram a:

1) situação atual do Parque, sem medidas de intervenção e;

2) implantação de trincheiras de infiltração e de pavimentos permeáveis como medidas de intervenção.

Ambos cenários consideraram que o reservatório de captação da água de chuva pelo telhado da Arena Dicró estava completamente cheio, sem capacidade de armazenamento em eventos de chuvas intensas.

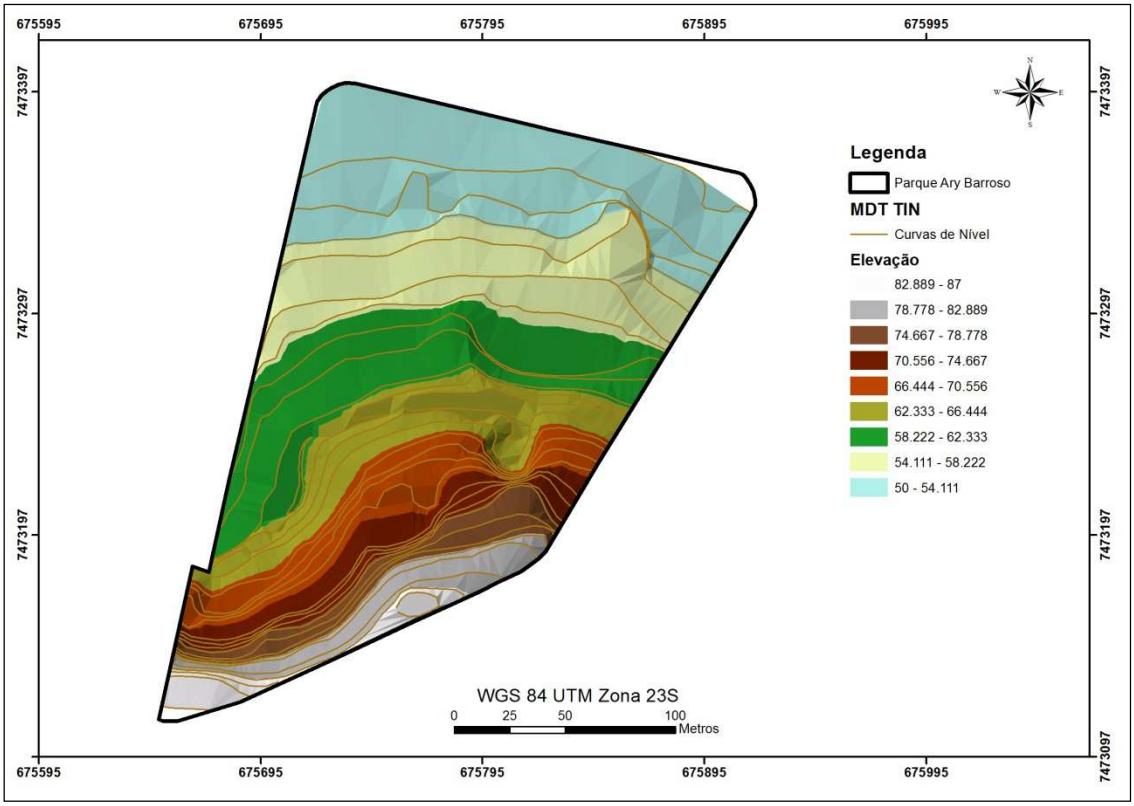
A configuração de cada cenário constitui-se da descrição de dados referentes: ao uso e ocupação do solo, hidrologia e técnicas compensatórias.

2.6.1 Uso e Ocupação do solo no Parque Ary Barroso

Para representar a ocupação atual do Parque Ary Barroso foram utilizadas ortofotos da cidade do Rio de Janeiro, além do levantamento topográfico da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, de visitas ao local e das imagens de satélite fornecidas pelo *Google Earth*, e ferramentas de apoio como os *softwares* ArcGIS e AutoCAD. Essas informações serviram como base para a definição e locação das técnicas compensatórias proposto para o segundo cenário.

Inicialmente, foram extraídas as curvas de níveis do arquivo digital em AutoCAD que continha o levantamento topográfico realizado pela PCRJ, e enviadas ao ambiente GIS. Com as curvas de nível consistidas, foi possível criar um Modelo Digital de Terreno (MDT), em formato TIN (*Triangular Irregular Network*) de toda a área do parque (Figura 14).

Figura 14 - Modelo Digital de Terreno em formato TIN

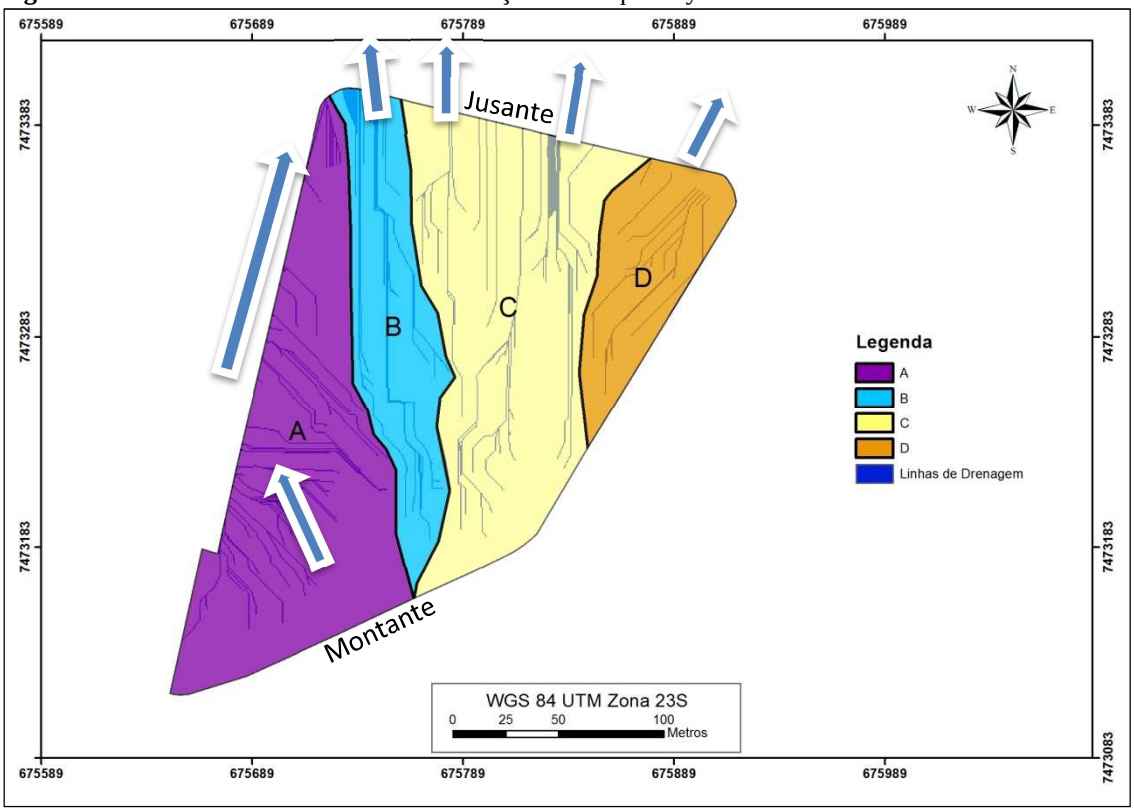


Fonte: O Autor, 2017

Posteriormente, o MDT foi transformado em imagem *Raster*, com o objetivo de se trabalhar com as ferramentas do ArcGIS. Com a *Raster* criada, foi possível, por meio da extensão ArcHydro, obter as linhas de drenagem do parque. Com a trajetória da água estabelecida pelo MDT criado, conseguiu-se identificar os possíveis locais em que as águas convergem. Com essa informação, foram traçadas quatro (4) sub-áreas de contribuição para auxiliar no dimensionamento das técnicas propostas no cenário 2. A divisão das sub-áreas de contribuição do parque está apresentada na Figura 15.

O escoamento gerado por cada sub-área traçada deve estar conectado com cada técnica dimensionada para as áreas propostas. Tal detalhamento não foi objeto desta dissertação, sendo a premissa que o escoamento segue as linhas de drenagem apresentadas e que a vazão escoada segue diretamente para os reservatórios das técnicas compensatórias.

Figura 15 - Divisão das sub-áreas de contribuição do Parque Ary Barroso



Fonte: O Autor, 2017. Obs.: as setas indicam o sentido do escoamento nas sub-áreas.

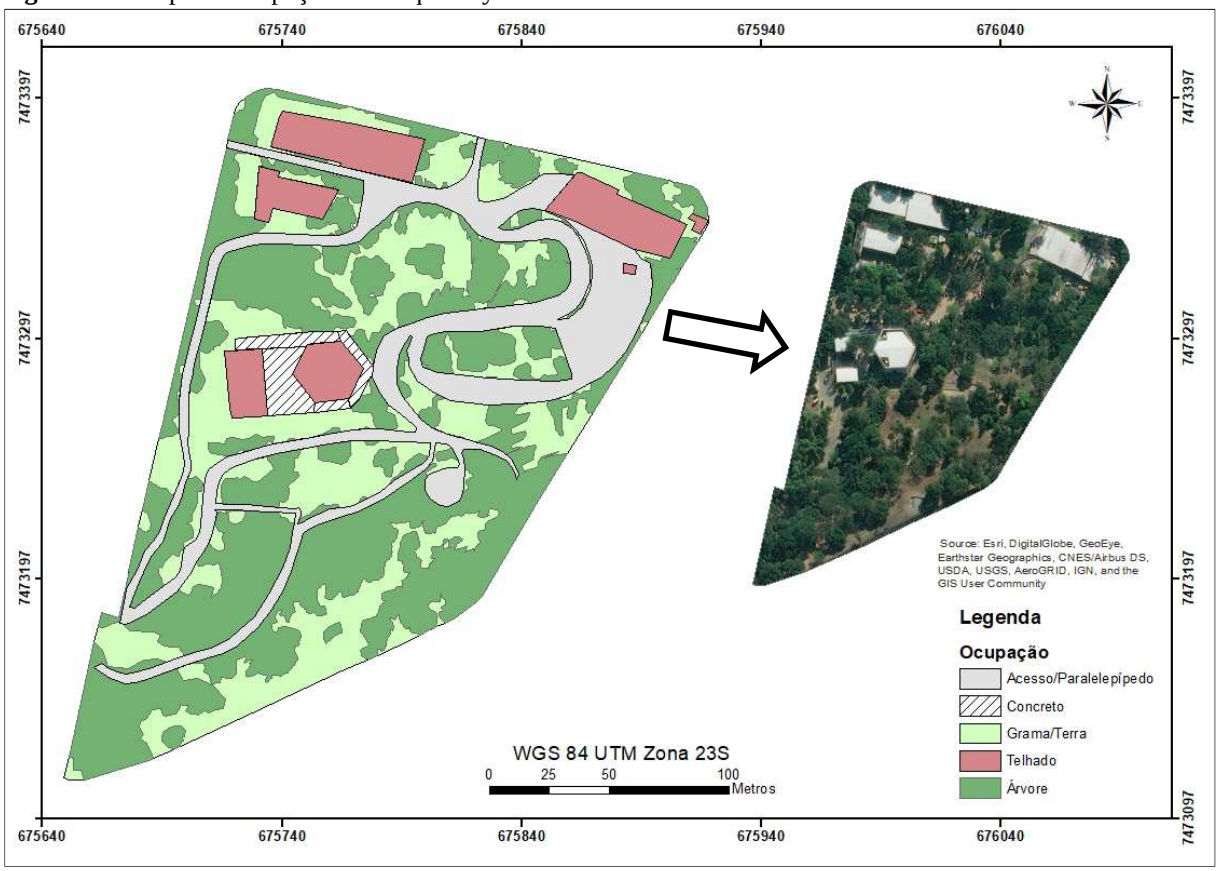
Com o auxílio das imagens de satélite do *Google Earth* e das ortofotos disponibilizadas pelo IBGE, além da compatibilização com fotos e visitas ao campo (Figura 16), foi realizado um estudo para determinar a configuração atual do Parque Ary Barroso, a fim de determinar o uso e ocupação do solo e, consequentemente, atribuir valores de coeficientes de *runoff* para cada tipo de pavimento ou superfície.

Figura 16 - Tipos de ocupação do Parque Ary Barroso

Legenda: (a) Acessos do parque em paralelepípedos; (b) Pátio da Arena Dicró, em cimento/concreto; (c) Áreas de telhado (UPA); (d) Áreas de grama/terra com a presença de diversas árvores.
Fonte: O Autor, 2017

No levantamento topográfico existente, havia a indicação dos acessos e caminhos ao longo do Parque, o que facilitou a sua delimitação, visto que, pelas imagens de satélite, as árvores impediam a sua visualização. A Figura 17 apresenta a configuração atual do uso de solo da área do Parque Ary Barroso (Cenário 1).

Figura 17 - Mapa de ocupação do Parque Ary Barroso – Cenário 1



Fonte: O Autor, 2017

2.6.2 Hidrologia

Para o dimensionamento das técnicas compensatórios e para o estudo do cenário sem intervenções, foi realizado um estudo de chuvas intensas, com base na IDF do posto de Irajá apresentado no manual da RIO-ÁGUAS (2010), para obter uma intensidade de chuva referente a um tempo de recorrência de 10 anos (TR de 10 anos). A Equação 13 está apresentada abaixo, assim como o Quadro 6 informa os coeficientes da equação da IDF.

$$i = \frac{a \times TR^b}{(t + c)^d} \qquad (13)$$

Onde:

i = intensidade pluviométrico, em mm/h;

TR = Tempo de Recorrência, em anos;

t = tempo de duração da precipitação, em minutos;

a, b, c e d = valores dos coeficientes, conforme Quadro 6.

Quadro 6 - Coeficientes da equação da IDF

Pluviômetro	a	b	c	d	Fonte
Irajá	5.986,27	0,157	29,70	1,050	Rio-Águas (2007)

Fonte: Adaptado de RIO-ÁGUAS (2010).

O manual da RIO ÁGUAS (2010) sugere que o tempo de chuva seja igual ao tempo de concentração. Foi estabelecido o tempo de concentração na área do parque, obtido pela fórmula de Kirpich (Equação 14). Tal equação também é sugerida pelo manual da RIO ÁGUAS (2010).

$$t_c = 0{,}39 \times \left(\frac{L^2}{S}\right)^{0{,}385} \quad (14)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração, em horas;

L = comprimento do talvegue, em quilômetros;

S = declividade média do talvegue.

A partir da obtenção de todos os parâmetros apresentados, obteve-se o escoamento superficial gerado pelo cenário 1, além das vazões de referência para o dimensionamento das técnicas compensatórias de cada sub-área de interesse, referentes ao cenário 2, pelo método racional (Equação 14).

$$Q = 0.278 \cdot c \cdot i \cdot A \quad (15)$$

Onde:

Q = vazão, em m³/s;

c = coeficiente de *runoff*;

i = chuva de projeto, em mm/h;

A = área de contribuição, em km².

Para definição do valor do coeficiente de runoff de cada tipo de ocupação do solo no Parque foi utilizado o documento elaborado pela Rio-Águas (2010), além da verificação dos valores apresentados em Williams (1949), ASCE (1969), Wilken (1978) e Villela e Mattos (1980). Os valores adotados estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 - Coeficiente de escoamento superficial ou *runoff*

Tipologia da ocupação	Faixa do Coeficiente de escoamento superficial	Coeficiente adotado
Superfícies		
concreto	0,80 – 0,95	0,90
paralelepípedo	0,58 – 0,81	0,75
telhado	0,75 – 0,95	0,85
Áreas sem melhoramentos ou naturais		
grama, em solo argiloso, declividade baixa < 2%	0,13 – 0,17	0,15
grama, em solo argiloso, declividade média 2% < S < 7%	0,18 – 0,22	0,20
grama, em solo argiloso, declividade alta > 7%	0,25 – 0,35	0,30
florestas com declividade <5%	0,25 – 0,30	0,25
florestas com declividade média entre 5% e 10%	0,30 – 0,35	0,30
florestas com declividade >10%	0,45 – 0,50	0,45

Fonte: Adaptado de Rio-Águas (2010).

Com o objetivo de atribuir valores de declividade, conforme Tabela x, para as áreas de grama/terra e de árvores, representadas pelas tipologias de florestas, foi obtida, por meio do MDT (Figura 14), o mapa de declividades do Parque Ary Barroso. Com esta informação, juntamente com o mapa de ocupação apresentada na Figura 17, foi possível gerar o mapa com cada tipologia de ocupação do parque (Figura 18).

Figura 18 - Mapa com as tipologias de ocupação, por valor de *runoff*, do Parque Ary Barroso

Fonte: O Autor, 2017.

Para o cenário 1, o coeficiente de *runoff* de referência foi obtido a partir da ponderação de todos os valores encontrados para cada parcela de área. Já para o cenário 2, as áreas de estudo foram divididas conforme especificado no item “Uso e Ocupação do solo no Parque Ary Barroso” (2.6.1), sendo obtida uma vazão de referência para cada sub-área drenagem específica do parque, a fim de facilitar a locação e o dimensionamento das técnicas compensatórias.

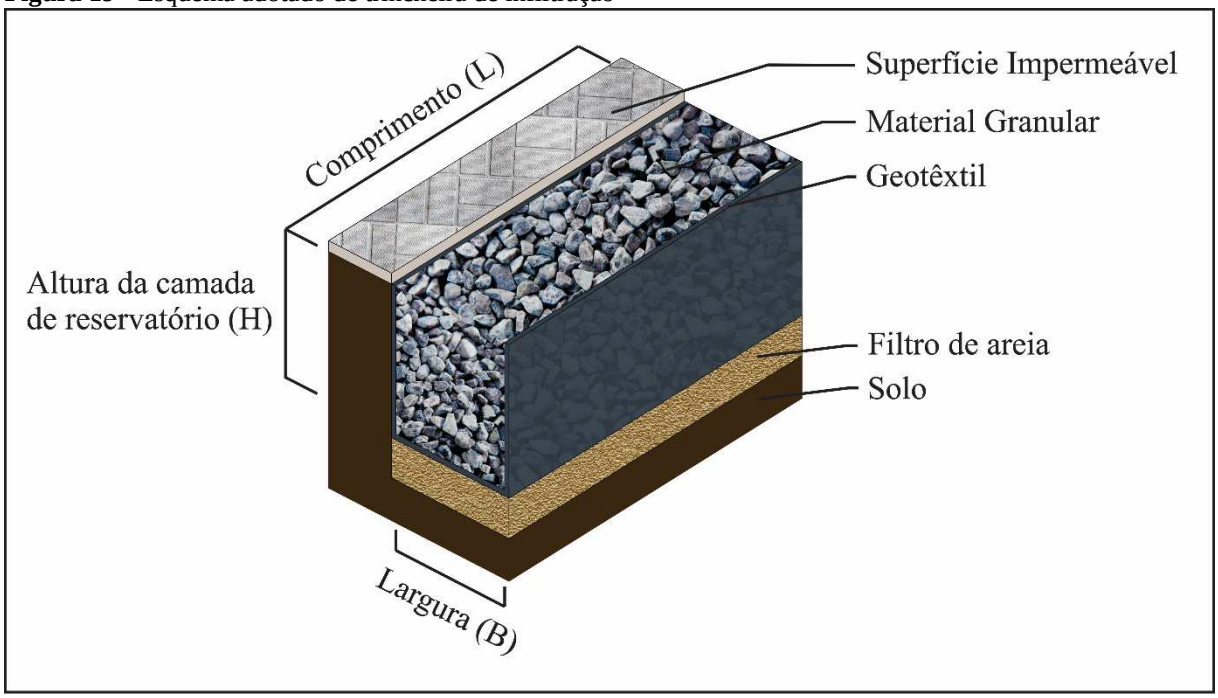
2.6.3 Técnicas compensatórias de drenagem de águas pluviais

Conforme citado anteriormente, o cenário 2 prevê a implantação de técnicas compensatórias, nomeadamente trincheiras de infiltração e pavimento permeável. Tais técnicas tem por objetivo reduzir o volume do escoamento superficial, além de retardar os picos dos hidrogramas de cheia (GRACIOSA, 2005).

2.6.3.1 Metodologia de Dimensionamento da Trincheira de Infiltração

Para o pré-dimensionamento da trincheira de infiltração foi utilizado método da curva envelope, baseado em Jonasson (1984) e Urbonas e Stahre (1993). Tal metodologia prevê o armazenamento suficiente para estimar a diferença máxima entre os volumes acumulados de entrada e saída da trincheira (OHNUMA JR., 2008). A figura 19 apresenta o modelo de trincheira de infiltração utilizado neste trabalho.

Figura 19 - Esquema adotado de trincheira de infiltração



Fonte: O Autor, 2017.

Cabe ressaltar que é necessário prever um dispositivo de descarga para cheias com períodos de retorno maiores que o de projeto.

Para obter as dimensões finais é necessário seguir diversas etapas.

2.6.3.1.1 Volume da trincheira

Para determinação do volume da trincheira, aplica-se a Equação 16:

$$V_{tr} = \frac{V_{armz}}{\emptyset_b} \quad (16)$$

Onde:

V_{tr} = volume da trincheira de infiltração, em m³;

V_{armz} = volume de armazenamento, em m³, e;

$\emptyset_b$ = porosidade do material utilizado no interior da trincheira.

2.6.3.1.2 Volume de armazenamento

A diferença entre o volume precipitado e o volume infiltrado resulta no volume de armazenamento, conforme Equação 17.

$$V_{armz} = V_{prec} - V_{inf} \quad (17)$$

Onde:

V_{armz} = volume de armazenamento da trincheira de infiltração, em m³;

V_{prec} = volume precipitado sobre a área de contribuição hidrológica, em m³, e;

V_{inf} = volume de água infiltrado, em m³.

2.6.3.1.3 Volume precipitado

Para obter o volume precipitado, calcula-se a vazão pelo método racional (Equação 14) e multiplica-se pelo tempo de chuva, conforme Equação 18.

$$V_{prec} = Q \cdot t \quad (18)$$

Onde:

Q = vazão calculada pelo método racional (Equação 14), em m³/s e;

t = tempo de chuva, em segundos.

2.6.3.1.4 Volume infiltrado

Para o cálculo do volume infiltrado, tem-se a equação 19.

$$V_{inf} = H \cdot L \cdot I_{ac} \quad (19)$$

Onde:

V_{inf} = volume infiltrado, em m³;

H = altura da trincheira, em metros;

L = comprimento da trincheira, em metros, e;

I_{ac} = infiltração acumulada, em m³/m².

2.6.3.1.5 Infiltração acumulada

Para o cálculo da infiltração acumulada, tem-se a Equação 20, que considera as características do solo e o tempo da chuva de projeto.

$$I_{ac} = S\sqrt{t} \quad (20)$$

Onde:

I_{ac} = infiltração acumulada, em m³/m²;

S = sortividade do solo, em m³/s.m², e;

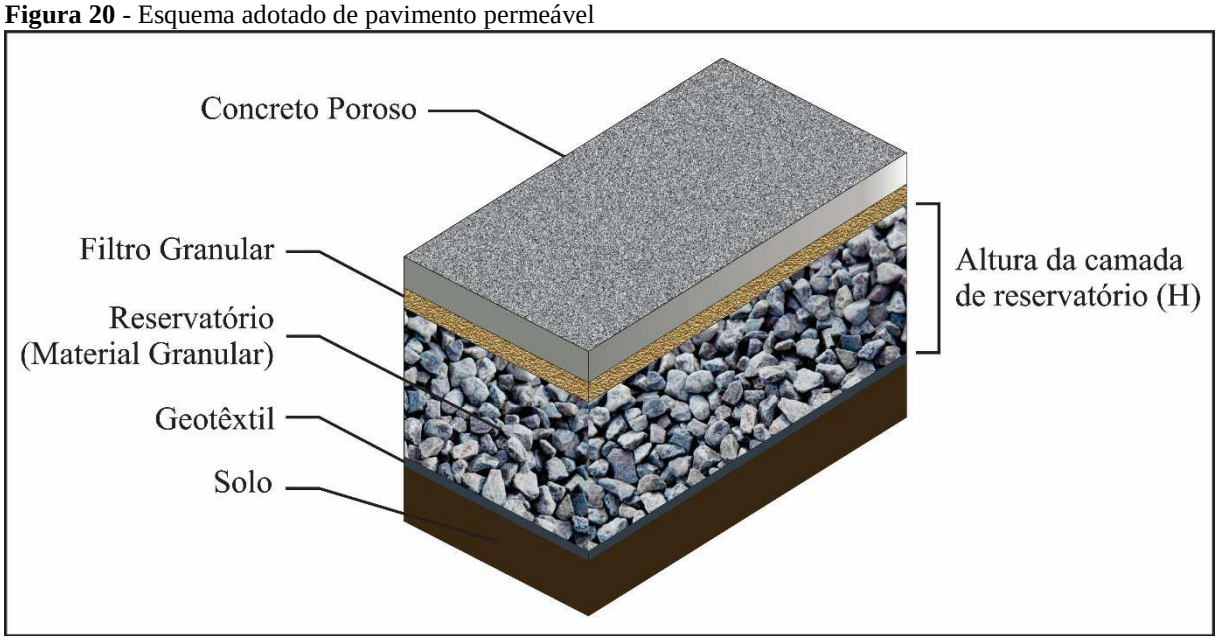
t = tempo de chuva, em segundos.

2.6.3.2 Metodologia de Dimensionamento do Pavimento Permeável

Para o pré-dimensionamento do pavimento permeável, também foi utilizado o método da curva envelope, aplicado, geralmente, no dimensionamento de bacias de detenção

(DAEE/CETESB,1980). O modelo de pavimento permeável proposto por este trabalho está apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Esquema adotado de pavimento permeável



Fonte: O Autor, 2017.

Assim como na trincheira de infiltração, é necessário prever descarregadores para a drenagem existente, para cheias com períodos de retorno maiores que o de projeto.

Neste caso específico, é necessário a transformação dos parâmetros da IDF convencional para a chamada IDF de Talbot. Cabe ressaltar que após a conversão, o parâmetro *a* deve ser corrigido, de forma que o resultado de uma chuva intensa calculada pela IDF de Talbot seja igual a calculada pela IDF convencional.

Quadro 8 - Expressões de conversão dos parâmetros da equação IDF

Equações IDF		**Expressões de Conversão**
Convencional (21*)	**Talbot (22)**	
$\boldsymbol{i = \frac{k \times TR^m}{(t+d)^n}}$	$i = \frac{a \times TR^b}{(t+c)}$	$a = 0.68k\exp(0.06n^{-0.26}d^{1.13})$ (23) $b = m$ (24) $c = 1.32n^{-2.28}d^{0.89}$ (25)

* Equivalente à Equação 13.

Fonte: Adaptado de SILVEIRA e GOLDENFUM, 2007.

2.6.3.2.1 Volume armazenado

Para encontrar o volume máximo a ser armazenado, tem-se a Equação 26.

$$Vmax = (\sqrt{\frac{a}{60}} \times \sqrt{\beta} \times T^{b/2} - \sqrt{\frac{c}{60}} \times \sqrt{q_s})^2 \quad (26)$$

Onde:

V_{max} = Volume armazenado, em m³;

a, b e c = parâmetros da equação da IDF de Talbot;

β = produto do coef. de *runoff* pela razão entre a área contribuinte e a área do dispositivo;

T = tempo de recorrência, em anos, e;

q_s = taxa de infiltração do solo, em mm/h;

2.6.3.2.2 Taxa de infiltração do solo

A taxa de infiltração do solo é obtida a partir da Equação 27.

$$qs = \propto \times Ks \quad (27)$$

Onde:

q_s = taxa de infiltração do solo, em mm/h;

$\propto$ = coeficiente redutor devido à colmatação e;

k_s = condutividade hidráulica do solo, em mm/h.

2.6.3.2.3 Parâmetro β

O parâmetro β, que relaciona a área de pavimento permeável e a sua área de contribuição, é obtida a partir da Equação 28.

$$\beta = \frac{A_{pav} + A \times C_e}{A_{pav}} \quad (28)$$

Onde:

A_{pav} = área do pavimento permeável, em m²;

A = área de contribuição que drena para o pavimento, e;

C_e = coeficiente de escoamento superficial (*runoff*).

2.6.3.2.4 Altura da camada de armazenamento do pavimento

Para obter a altura da camada de reservatório do pavimento permeável, aplica-se a Equação 29.

$$H = \frac{V_{max}}{\eta} \quad (29)$$

Onde:

V_{max} = volume de armazenamento, em m³;

H = altura da trincheira, em metros e;

η = porosidade.

2.6.3.3 Locação

A seleção de locação das áreas de intervenções considera a partição apresentada na Figura 15, além do uso atual do parque.

A locação das técnicas considera os critérios:

- Para o pavimento permeável
    - Pontos de convergência das águas, tomando como base a divisão realizada no item “Uso e Ocupação do Solo no Parque Ary Barroso” - 2.6.1 (Figura 15);
    - Áreas planas;
    - Locais utilizados como estacionamento, (Figura 21);

- Áreas com poucas árvores.

- Para a trincheira de infiltração
  - Áreas finais de convergência das águas, tomando como base a divisão realizada no item “Uso e Ocupação do Solo no Parque Ary Barroso” - 2.6.1 (Figura 15);
  - Áreas sem circulação de automóveis, para evitar esforços na estrutura;
  - Áreas limítrofes do Parque Urbano;
  - Locais que não atravessem as entradas dos usuários do Parque;
  - Locais com o maior espaçamento possível entre as árvores e/ou qualquer benfeitoria.

Figura 21 - Locais utilizados como estacionamento

Fonte: O Autor, 2017

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Dados Pluviométricos

Os dados pluviométricos utilizados no trabalho compõem-se de registros obtidos da estação pluviométrica da Penha (ALERTA RIO, 2017). O Quadro 9 apresenta, de forma consistida, as chuvas acumuladas mensalmente ao longo dos 20 anos (1997 a 2017).

Quadro 9 - Tabela consistida dos dados mensais de chuva, em mm, ao longo dos 20 anos de análise

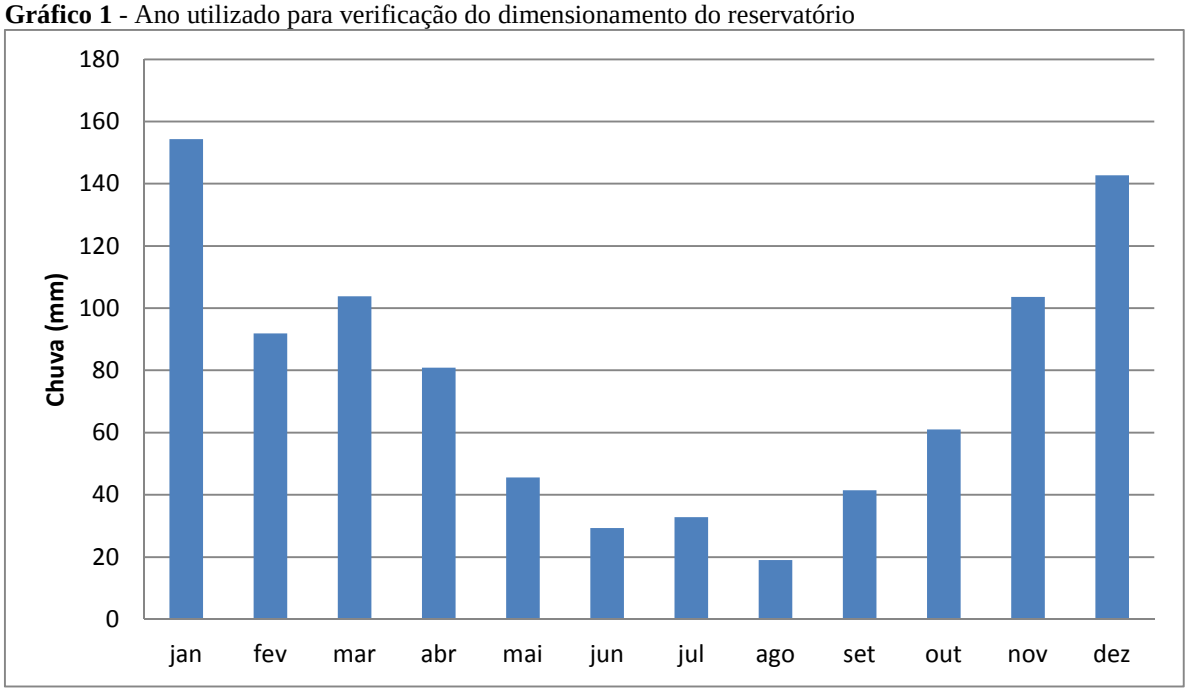
ANO	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Acumulado
1997	203.2	33.9	71.5	24.3	49.4	24.7	8.5	21.7	28.9	65.2	54.4	51.2	636.9
1998	127.6	132.4	81.2	62.3	75.8	25.6	35.9	18.3	39.3	130	70.2	147.5	946.1
1999	212.5	163.1	99	39.1	27.9	54.7	25.3	12.7	53.6	24.4	72.2	115.3	899.8
2000	205.7	175.9	140.9	29.9	13.6	2.9	64.3	51	56.8	39	94.2	94.2	968.4
2001	30.8	52.2	126	34.6	60.8	10.8	48.4	2	12.6	43.6	120	295.6	837.4
2002	93.6	127.4	27.6	18	95.4	22.4	17.8	18.2	61	14.4	97.4	137.2	730.4
2003	228.4	4.2	175.2	54	32.4	2	6	86.4	51.2	147.4	212.6	72.4	1072.2
2004	134.4	108.2	39.6	94.2	49.4	21.4	94	10.2	12.2	30.8	120.2	104.8	819.4
2005	163.6	62.2	121.6	131	41.6	21.2	50	5.4	42	37.2	129.8	96.4	902
2006	257	82.2	44.4	55.4	46.8	11.6	14.4	35.6	76.4	93.2	130.8	80.6	928.4
2007	109.6	68.4	10.4	61.2	48.6	41.2	26.2	11	11.4	114.8	86.6	166.6	756
2008	97.2	152.4	141.8	79.4	39.8	43.4	30.8	26	53.8	40.8	109	105.8	920.2
2009	201.4	136.2	111.4	141	29	36	44	17.6	52.2	127.6	105	374.4	1375.8
2010	241.4	70.8	237.2	323.4	54.2	28.2	40.2	4.2	27.2	74.4	41.6	208	1350.8
2011	66	22.2	79.6	114.4	56.2	27.4	6.4	7.4	7.6	76.2	136.6	194.6	794.6
2012	155.4	62.6	99.6	46.8	75.8	41	5.4	9.2	63	30.4	62.4	78.8	730.4
2013	294	85.4	185.6	72.4	30.8	20.8	68.6	4.4	64.4	61.8	140.8	266.4	1295.4
2014	57.6	35.4	132.2	140	32.6	39.6	63	6.4	20	25.2	45.4	70.6	668
2015	38.8	111.4	87.8	83.4	26.2	51.2	6.6	2.8	58.8	12.4	141	71.6	692
2016	167.6	151.8	64.6	12.4	26	61.2	1	31	38	30.6	102.2	123	809.4
Média	**154.29**	**91.915**	**103.86**	**80.86**	**45.615**	**29.365**	**32.84**	**19.075**	**41.52**	**60.97**	**103.62**	**142.75**	**906.68**

Fonte: O Autor, 2017.

A chuva média anual acumulada, ao longo dos anos supracitados, é igual a 906.68 mm. Os anos considerados da “crise hídrica” de 2014 e 2015, juntamente com o ano de 1997, foram os anos com os menores índices pluviométricos na região da Penha.

O ano utilizado para a aplicação das metodologias de dimensionamento representa as médias mensais de janeiro a dezembro do período analisado (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Ano utilizado para verificação do dimensionamento do reservatório



Fonte: O Autor, 2017

3.2 Estimativa da Demanda de Água da Arena Dicró

Com base nas informações relacionadas à estrutura da Arena Dicró, obtidas por meio de questionários respondidos pelos funcionários da sociedade civil intitulada “Observatório de Favelas”, responsáveis pela administração da Arena, elaborou-se o Quadro 10. Além dessas informações, por meio do uso e ocupação do Parque Ary Barroso, foi verificada também a área de pátio da Arena Dicró.

Quadro 10 - Informações da Arena Dicró

Descrição	Quantidade	Observação
Nº de funcionários	12 pessoas	-
Nº de banheiros de funcionários	3 un.	-
Nº de banheiros públicos	3 un.	Totalizando 10 vasos sanitários e 3 mictórios
Capacidade da Arena Dicró	338 pessoas	-
Nº de eventos por mês	90 eventos	Aproximadamente
Área de Pátio	650 m²	-

Fonte: Elaborado a partir de informações cedidas por funcionários da Arena Dicró.

Foi solicitado aos funcionários da Arena Dicró e também à Fundação Parques e Jardins um histórico das contas de água para verificar a demanda real de água do local de interesse. Contudo tais dados não foram disponibilizados, o que acarretou em uma pesquisa mais ampla em trabalhos que apresentaram dados de consumo de água como estimativa, além de informações fornecidas por comitês e concessionárias.

Como ocorre em média 3 eventos por dia na Arena Dicró, conforme informado pelos funcionários, a caracterização do público é variável e depende de outros critérios, como frequência por evento, para o cálculo da demanda de água utilizada em descargas sanitárias para o público em geral. Dessa forma, definiu-se como demanda de água do local apenas a descarga dos banheiros de funcionários, além da lavagem de pátio.

O resultado da estimativa de demanda, com base nos valores apresentados no Quadro 10, para a Arena Dicró, está apresentado no Quadro 11. Para a descarga sanitária nos banheiros de funcionários, foram utilizados 22 dias de trabalho, e frequência integral dos 12 funcionários nesses dias.

Quadro 11 - Estimativa de demanda da Arena Dicró

Uso de água não-potável	Consumo	Quantidade	Unidade	Frequência	Consumo mensal (m^3)
Descarga sanitária nos banheiros de funcionários	9 L/uso	12	funcionários	4/dia/funcionário	9,5
Lavagem de pátio	1,5 L/m²	650	m²	2/semana	7,8
Total	-	-	-	-	**17,3**

Fonte: O Autor, 2017.

3.3 Verificação das Dimensões do Reservatório Existente

Para a verificação das dimensões do reservatório existente foi dimensionado, para cada uma das metodologias apresentadas no item 2.3, um reservatório teórico com base na demanda apresentada no item “Estimativa da Demanda de Água da Arena Dicró” (3.2). Posteriormente, as dimensões encontradas foram comparadas com o reservatório enterrado que possui um volume de 10,8 m³.

3.3.1 Método de Rippl

Para este método, os cálculos foram realizados por meio de planilha do *software Excel*, conforme apresentado no Quadro 1 do Apêndice B.

A demanda adotada no dimensionamento teórico foi a obtida no item Estimativa da Demanda de Água da Arena Dicró (3.2), sem qualquer tipo de sazonalidade, ou seja, é a mesma para todos os meses. O valor adotado foi de 17,3 m³/mês.

A chuva utilizada para o dimensionamento foi a média mensal dos anos de 1997 a 2016 (20 anos de dados).

O valor do coeficiente de *runoff* adotado foi de 0,8. Apesar do valor adotado para as áreas de telhado dos cenários deste trabalho ser diferente, o valor de 0,8 é o mais usualmente utilizado em diversos trabalhos e recomendado por Tomaz (2000). Essa diferença também é explicável por conta da perda de água existente no sistema de captação, representada por um valor menor do coeficiente de *runoff*

Os resultados estão apresentados no Quadro 12.

Quadro 12 - Resultado do dimensionamento pelo método de Rippl

MESES	DEMANDA MENSAL (m³)	DEMANDA ACUMULADA (m³)	ÁREA DE COLETA (m²)	RUNOFF	CHUVA MÉDIA MENSAL (mm)	VOLUME POSSÍVEL DE SER CAPTADO (m³)	VOLUME ACUMULADO (m³)	VOLUME DE CHUVA - DEMANDA (m³)	VOLUME DO RESERVATÓRIO (m³)
Janeiro	17.30	17.30	500	0.8	154.29	61.72	61.72	44.42	0
Fevereiro	17.30	34.60	500	0.8	91.92	36.77	98.48	19.47	0
Março	17.30	51.90	500	0.8	103.86	41.54	140.03	24.24	0
Abril	17.30	69.20	500	0.8	80.86	32.34	172.37	15.04	0
Maio	17.30	86.50	500	0.8	45.62	18.25	190.62	0.95	0
Junho	17.30	103.80	500	0.8	29.37	11.75	202.36	-5.55	5.55
Julho	17.30	121.10	500	0.8	32.84	13.14	215.50	-4.16	4.16
Agosto	17.30	138.40	500	0.8	19.08	7.63	223.13	-9.67	9.67
Setembro	17.30	155.70	500	0.8	41.52	16.61	239.74	-0.69	0
Outubro	17.30	173.00	500	0.8	60.97	24.39	264.12	7.09	0
Novembro	17.30	190.30	500	0.8	103.62	41.45	305.57	24.15	0
Dezembro	17.30	207.60	500	0.8	142.75	57.10	362.67	39.80	0
								Volume Total do Reservatório	**19.39**

Fonte: O Autor, 2017.

O volume obtido por este método foi de aproximadamente **19,4 m³**. Ou seja, o dimensionamento obtido pelo método de Rippl é superior ao reservatório existente, de 10,8 m³, em cerca de 79,63 %, se comparadas as capacidades de armazenamento.

3.3.2 Método Azevedo Neto

Conforme apresentado nos resultados do item 3.1 (Dados Pluviométricos), o valor da precipitação média anual, para os 20 anos estudados (1997 a 2016), é de 906,68 mm. Além desse valor, ao observar o Gráfico 1, os meses de junho a agosto foram adotados como os meses de pouca chuva, ou seja, 3 meses. Tem-se:

$$V = 0{,}042 \times 906{,}68 \times 500 \times 3 = 57120{,}84\ L$$

Desta forma, o valor encontrado no dimensionamento do reservatório pelo método Azevedo Neto, é de aproximadamente 57.121 litros ou 57,12 m³. Tal valor também é superior aos 10,8 m³ do reservatório existente.

3.3.3 Método prático alemão

Conforme obtida no item 3.2, a demanda mensal de água é igual a 17,3 m³, para fins não-potáveis e indicados nesta dissertação. A demanda acumulada ao longo de um ano é igual a 213,6 m³. Já a média pluviométrica adotada neste trabalho é igual a 906,68 mm.

Assim como nas outras metodologias, o *runoff* utilizado é igual a 0,8 e a área de captação igual a 500 m². Desta forma, o volume possível de ser captado é:

$$V = 0{,}8 \times 906{,}68 \times 500 = 362.400\ L\ ou\ 362{,}4\ m^3$$

Dentre os valores de demanda anual e de volume possível de ser captado, o menor é o da demanda. Logo:

$$V_{adotado} = 213{,}6 \times 0{,}06 \cong 12{,}8\ m^3$$

Ou seja, pelo método prático alemão, o volume do reservatório necessário para o atendimento da demanda indicada é igual a **12,8 m³**, valor próximo aos 10,8 m³ do reservatório existente.

3.3.4 Método prático inglês

Para este método bastou aplicar a fórmula com as informações de precipitação média anual e a área de captação:

$$V = 0{,}05 \times 906{,}68 \times 500 = 22667\ L\ ou\ 22{,}67\ m^3$$

Neste caso, o volume encontrado foi de aproximadamente **22,67 m³**, superior ao volume do reservatório existente.

3.3.5 Método prático australiano

O Método prático australiano é consistido em realizar diversas tentativas até se chegar em um valor ótimo de acordo com a confiança requerida. Para tal, também foi elaborada a planilha em *Excel (Quadro 2 do Apêndice B)*, para auxílio nos cálculos, conforme já explicitado no item 2.4.2.

Assim como no método de Rippl, o coeficiente de *runoff* foi adotado com o valor de 0,8. A chuva de projeto utilizada foi a média mensal para os anos de estudo (1997 a 2016), conforme apresentado no item 3.1 (Dados Pluviométricos).

Um parâmetro novo neste método é a interceptação. O valor utilizado foi de 2 mm, conforme sugerido na ABNT (2007).

O valor de confiança sugerido pela ABNT (2007), ou seja, a porcentagem de meses em que a demanda foi atingida dentro de um ano, é entre 91% (11 meses) e 99% (12 meses). Sendo assim, foram verificados diversos volumes para que se chegassem próximos a estes

resultados. O resultado ótimo, para uma confiança de 99%, está apresentado no Quadro 13. Já o Quadro 14 apresenta, para alguns volumes adotados, o respectivo valor de confiança.

Quadro 13 - Resultado do dimensionamento ótimo para uma confiança de 99%, pelo método prático australiano

						Volume =	**24**	**m³**	
Meses	**P**	**A**	**I**	**Q(t)**	**D(t)**	**V(t-1)**	**V(t)**	Mês Atendido?
	mm	**m²**	**mm**	**m³**	**m³**	**m³**	**m³**	
Janeiro	154.29	500	2	60.92	17.3	0.00	24.00	Sim
Fevereiro	91.92	500	2	35.97	17.3	24.00	24.00	Sim
Março	103.86	500	2	40.74	17.3	24.00	24.00	Sim
Abril	80.86	500	2	31.54	17.3	24.00	24.00	Sim
Maio	45.62	500	2	17.45	17.3	24.00	24.00	Sim
Junho	29.37	500	2	10.95	17.3	24.00	17.65	Sim
Julho	32.84	500	2	12.34	17.3	17.65	12.68	Sim
Agosto	19.08	500	2	6.83	17.3	12.68	2.21	Sim
Setembro	41.52	500	2	15.81	17.3	2.21	0.72	Sim
Outubro	60.97	500	2	23.59	17.3	0.72	7.01	Sim
Novembro	103.62	500	2	40.65	17.3	7.01	24.00	Sim
Dezembro	142.75	500	2	56.30	17.3	24.00	24.00	Sim

Nr	0
Pr	0.0100
Confiança	99%

Fonte: O Autor, 2017.

Quadro 14 - Resultados de confiança para alguns volumes adotados no pré-dimensionamento do reservatório, pelo método prático australiano

Volume do Reservatório (m³)	Confiança (%)
5	66.67
10,8	75
15	83.33
20	83.33
22	91.67
24	99

Fonte: O Autor, 2017.

Para este método, o volume de reservatório ótimo encontrado foi de **24 m³**, para uma confiança de **99%** e **22 m³**, para **91,67%** de confiança, ou seja, não atendendo um mês do ano estudado. Os valores encontrados também são superiores aos 10,8 m³ existentes.

3.3.6 Método dos dias consecutivos sem chuva

O Quadro 15 apresenta os valores máximos de dias consecutivos sem chuvas (DCSC) para cada ano estudado (1997 a 2016), da estação pluviométrico da Penha (ALERTA RIO, 2017).

Quadro 15 - Máximos de dias consecutivos sem chuvas ao longo dos 20 anos de dados

Ano	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**
DCSC	21	20	24	19	28	28	37	23	36	30
Ano	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**
DCSC	31	36	13	29	25	22	26	23	31	43

Fonte: O Autor, 2017.

Com base nesses resultados, foi possível obter o valor do desvio padrão da amostra, o que resultou em 7,181. A média de dias consecutivos sem chuva encontrada foi de 27,25. Para um tempo de recorrência (TR) de 10 anos, aplicou-se a Equação 10:

$$x = 27{,}25 - 7{,}181\left\{0{,}45 + 0{,}7797 \times \ln\left[\ln\left(\frac{10}{10-1}\right)\right]\right\} = 36{,}618$$

Conforme apresentado no item 3.2 (Estimativa da Demanda de Água da Arena Dicró), a demanda mensal para fins não-potáveis equivale a 17,3 m³, o que dividido pelos 30 dias de um mês comercial, equivale a 0,58 m³. Para a aplicação da Equação 11 arredondou-se o valor de dias consecutivos sem chuva para 37.

$$V_{res} = 37 \times 0{,}58 = 21{,}24\ m^3$$

O volume encontrado por este método - **21,24 m³ -** é praticamente o dobro do volume do reservatório existente (10,8 m³).

3.3.7 Consolidação dos métodos aplicados

O Quadro CM apresenta os valores de volume de reservatório pelos diferentes métodos aplicados:

Quadro 16 - Resumo dos resultados do volume do reservatório para diferentes metodologias.

Método	**Volume encontrado (m³)**	**Confiança (%)**
Reservatório Existente	10,8	-
Rippl	19,4	-
Azevedo Neto	57,1	-
Prático alemão	12,8	-
Prático inglês	22,7	-
Prático australiano	22,0	91,67
	24,0	99,00
Dias Consecutivos sem chuva	21,2	-

Fonte: O Autor, 2017.

Com base nos resultados obtidos, para as metodologias aplicadas, o reservatório existente não está suficientemente dimensionado para atender a demanda proposta por este trabalho. O volume de reservatório mais próximo do implantado no Parque Ary Barroso foi obtido pelo método prático alemão.

Enquanto o método Azevedo Neto resultou em um valor de reservação de 57,1 m³, o método prático alemão indicou um volume de 12,8 m³, ou seja, um valor 4,46 vezes maior. Contudo, para os métodos de Rippl, Prático inglês, Prático australiano e Dias Consecutivos sem chuva, os valores encontrados são próximos: entre 19,4 m³ e 24,0 m³.

Mierzwa *et al.* (2007) cita que os métodos atuais, para o cálculo do volume de reservatório de águas pluviais, estão relacionados com a regularização da vazão ao longo do ano, ao se preocupar com o acúmulo de água nos dias de seca. Desta forma, são necessários reservatórios com grande capacidade de armazenamento, o que pode inviabilizar os sistemas de aproveitamento de água de chuva em certas situações, como alto investimento inicial ou mesmo espaço físico. Essas informações são corroboradas com os resultados obtidos pelas metodologias explicitadas neste trabalho.

3.4 Verificação do volume do reservatório existente

3.4.1 Cálculo da demanda máxima possível para o reservatório

Uma análise realizada com base no reservatório existente foi a verificação da máxima demanda que o reservatório é capaz de suprir sem a necessidade de utilizar outra fonte de abastecimento.

Para encontrar a maior demanda possível de ser atendida, foram realizadas diversas tentativas ao se alterar o valor da demanda mensal em intervalos de 0,1 m³ até que não haja déficit. Nesse caso, considerou-se que o reservatório não necessariamente tenha que estar completamente cheio no final de cada mês. O Quadro 17 apresenta os resultados, após o processo de iteração.

Quadro 17 - Resultados da análise do volume do reservatório existente

MESES	DEMANDA MENSAL (m^3)	DEMANDA ACUMULADA (m^3)	ÁREA DE COLETA (m^2)	RUNOFF	CHUVA MÉDIA MENSAL (mm)	VOLUME POSSÍVEL DE SER CAPTADO (m^3)	VOLUME DO RESERVATÓRIO (m^3)	VOLUME DO RESERVATÓRIO T-1 (m^3)	VOLUME DO RESERVATÓRIO T (m^3)	EXCEDENTE	DÉFICIT
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Janeiro	14.40	14.40	500	0.8	154.29	61.72	10.8	0.0	10.8	36.52	0.00
Fevereiro	14.40	28.80	500	0.8	91.92	36.77	10.8	10.8	10.8	11.57	0.00
Março	14.40	43.20	500	0.8	103.86	41.54	10.8	10.8	10.8	16.34	0.00
Abril	14.40	57.60	500	0.8	80.86	32.34	10.8	10.8	10.8	7.14	0.00
Maio	14.40	72.00	500	0.8	45.62	18.25	10.8	10.8	10.8	0.00	0.00
Junho	14.40	86.40	500	0.8	29.37	11.75	10.8	10.8	8.1	0.00	0.00
Julho	14.40	100.80	500	0.8	32.84	13.14	10.8	8.1	6.9	0.00	0.00
Agosto	14.40	115.20	500	0.8	19.08	7.63	10.8	6.9	0.1	0.00	0.00
Setembro	14.40	129.60	500	0.8	41.52	16.61	10.8	0.1	2.3	0.00	0.00
Outubro	14.40	144.00	500	0.8	60.97	24.39	10.8	2.3	10.8	0.00	0.00
Novembro	14.40	158.40	500	0.8	103.62	41.45	10.8	10.8	10.8	16.25	0.00
Dezembro	14.40	172.80	500	0.8	142.75	57.10	10.8	10.8	10.8	31.90	0.00
Total	172.80					362.67				119.72	0.00

Fonte: O Autor, 2017.

A demanda máxima atendida para o reservatório existente é de 14.40 m³. O menor nível do reservatório foi observado no mês de agosto, quando ocupava apenas 0.1 m³.

Entre os meses janeiro e maio e os meses de outubro e dezembro, além de suprirem as demandas mensais, as respectivas precipitações observadas na série de estudo foram suficientes também para encher o reservatório. Já nos outros meses, em especial de junho a agosto, nos quais choveram menos do que a demanda de 14.4 m³, a reserva gerada pelos meses anteriores conseguiu suprir o atendimento ao uso de água para fins não potáveis.

Com essa disponibilidade hídrica, é possível atender o uso de água para limpeza de pátio no valor de 7,8 m³, calculado no item 3.2. Além de atender quase 70% da demanda gerada pelo uso das descargas, calculado em 9,5 m³.

3.4.2 Avaliação do volume do reservatório com a demanda calculada

Após a verificação dos dimensionamentos sugeridos pela ABNT (2007) e a obtenção da maior demanda possível de ser atendida com base no volume de reservação, foi analisado o reservatório existente em relação à demanda de 17,3 m³, sugerida por este trabalho.

Os resultados estão apresentados no Quadro 18.

Quadro 18 - Resultados da análise do volume do reservatório existente

MESES	DEMANDA MENSAL (m^3)	DEMANDA ACUMULADA (m^3)	ÁREA DE COLETA (m^2)	RUNOFF	CHUVA MÉDIA MENSAL (mm)	VOLUME POSSÍVEL DE SER CAPTADO (m^3)	VOLUME DO RESERVATÓRIO (m^3)	VOLUME DO RESERVATÓRIO T-1 (m^3)	VOLUME DO RESERVATÓRIO T (m^3)	EXCEDENTE	DÉFICIT
Janeiro	17.30	17.30	500	0.8	154.29	61.72	10.8	0.0	10.8	33.62	0
Fevereiro	17.30	34.60	500	0.8	91.92	36.77	10.8	10.8	10.8	19.47	0
Março	17.30	51.90	500	0.8	103.86	41.54	10.8	10.8	10.8	24.24	0
Abril	17.30	69.20	500	0.8	80.86	32.34	10.8	10.8	10.8	15.04	0
Maio	17.30	86.50	500	0.8	45.62	18.25	10.8	10.8	10.8	0.95	0
Junho	17.30	103.80	500	0.8	29.37	11.75	10.8	10.8	5.2	0.00	5.55
Julho	17.30	121.10	500	0.8	32.84	13.14	10.8	5.2	1.1	0.00	9.72
Agosto	17.30	138.40	500	0.8	19.08	7.63	10.8	1.1	0.0	0.00	19.39
Setembro	17.30	155.70	500	0.8	41.52	16.61	10.8	0.0	0.0	0.00	11.49
Outubro	17.30	173.00	500	0.8	60.97	24.39	10.8	0.0	7.1	0.00	3.71
Novembro	17.30	190.30	500	0.8	103.62	41.45	10.8	7.1	10.8	20.44	0
Dezembro	17.30	207.60	500	0.8	142.75	57.10	10.8	10.8	10.8	39.80	0
Total	207.60					362.67				153.55	49.86

Fonte: O Autor, 2017.

Os resultados exprimem que o reservatório não consegue atender à demanda de 17,3 m³ em dois meses: agosto e setembro. Isso ocorre pois o volume precipitado nos meses entre junho e setembro são inferiores ao volume necessário para atender aos usos indicados nos respectivos meses. De outro modo, o reservatório é capaz de suprir os meses de junho e julho, por conta da reserva dos meses anteriores.

Ainda houve um excedente total, ou seja, um volume de água descartado para a drenagem do parque urbano de 153,55 m³, gerados nos meses de janeiro a maio e de novembro a dezembro. Já para os meses de junho a outubro, observa-se a necessidade de suprir a demanda com oferta de água pela concessionária, num volume total de 49,86 m³ para manter o reservatório cheio e atender a demanda de todos os meses.

Apesar do volume real do reservatório estar abaixo dos valores obtidos nos dimensionamentos apresentados no item 3.3 (Verificação das Dimensões do Reservatório Existente), o reservatório atende a demanda indicada de 17,3 m³/mês, para um período de 10 meses, o que resulta em um valor de confiança de 83,3 %.

3.5 Cenários

Os resultados do Cenário 1 consistem na obtenção da vazão de escoamento superficial gerado por todo o Parque Ary Barroso e do volume associado a essa vazão de pico obtida, considerando a situação atual do parque urbano, com o reservatório de águas pluviais cheio (sem capacidade de armazenamento) e sem qualquer tipo de intervenção.

O Cenário 2 também tem como resultados as vazões de pico e o volume gerado pelo escoamento superficial, porém para cada sub-área de drenagem do parque, conforme apresentado no item 2.6.1 (Uso e Ocupação do solo no Parque Ary Barroso). Além dessas informações, são apresentados os locais sugeridos para a implantação das técnicas compensatórias, indicando um layout do Cenário 2 para o Parque Ary Barroso. Os sub-capítulos 3.5.1 e 3.5.2 apresentam os resultados para cada cenário estudado.

3.5.1 Cenário 1

Na análise do cenário atual e do cenário com a implantação das técnicas compensatórias, foi realizado o cálculo do volume de escoamento superficial relacionado à área de contribuição do parque, constituída pela vazão de pico. Nesse caso, foi necessário obter a intensidade pluviométrica na região, para um tempo de recorrência de 10 anos, conforme explicitado no item 2.6.2 (Hidrologia).

Para a determinação do tempo de concentração foi utilizada equação de *Kirpich* (Equação 13), conforme explicitado no item 2.6.2 (Hidrologia). Os parâmetros utilizados, obtidos a partir do modelo digital de terreno, estão apresentados no Quadro 19. Nesta dissertação, a duração da chuva foi adotada como a estimativa do tempo de concentração da área de estudo, como sugerido por Rio Águas (2010) e indicado no item 2.6.2 (Hidrologia).

Quadro 19 - Parâmetros da equação de *Kirpich*

L – comprimento do talvegue (km)	S – declividade média (m/m)
0,233	0,15

Fonte: O autor, 2017.

O tempo de concentração estimado foi de **16 minutos**. Com os dados apresentados no item 2.6.2 (Hidrologia) e o tempo de chuva igual ao tempo de concentração, ao se aplicar a equação da IDF (12) tem-se:

$$i = \frac{a \times {T_R}^b}{(t+c)^d} \therefore \frac{5986{,}27 \times 10^{0{,}157}}{(16+29{,}7)^{1{,}05}} = 152{,}8\ mm/h$$

A estimativa da chuva intensa resultou em **152,8 mm/h**.

Com base no estudo de uso e ocupação do solo no Parque Ary Barroso, representado na Figura 18, foi obtido um coeficiente de *runoff* ponderado do cenário atual, conforme apresentado no Quadro 20.

Quadro 20 - Coeficiente de escoamento superficial ponderado do Parque

Tipo de Ocupação	Área (m²)	C
concreto	880	0,90
paralelepípedo	7880	0,75
telhado	3550	0,85
grama, em solo argiloso, declividade baixa < 2%	670	0,15
grama, em solo argiloso, declividade média 2% < S < 7%	600	0,20
grama, em solo argiloso, declividade alta > 7%	10480	0,30
florestas com declividade <5%	1430	0,25
florestas com declividade média entre 5% e 10%	1680	0,30
florestas com declividade >10%	14990	0,45
Coeficiente Ponderado	42160	**0,49**

Fonte: O Autor, 2017

Para estimar a vazão de projeto relacionada ao escoamento superficial gerado pelo Parque Ary Barroso, foi aplicada a equação do método racional (Equação 14). Com base nos parâmetros do coeficiente de escoamento, intensidade pluviométrica com TR de 10 anos e área de contribuição, a vazão de referência obtida foi de **0,89 m³/s** ou **892 L/s** nos pontos de saída do deflúvio ou de drenagem da área do Parque. Essa vazão equivale a cerca de **856 m³** de escoamento superficial gerado pela chuva de projeto, com uma duração de 16 minutos.

Ao considerar toda a área do Parque (42160 m² ou 4,216 ha) e a vazão de 892 L/s, a vazão específica do parque, no Cenário 1, é de 211,11 L/(s.ha). Como forma de comparação, o Decreto Nº 15.371 (PORTO ALEGRE, 2006) exige que o escoamento gerado de uma determinada área não ultrapasse a vazão específica de 20,8 L/(s.ha). Embora haja necessidade de se avaliar cada caso conforme suas características específicas e localizadas de uso e ocupação do solo e fatores distintos do preconizado pelo Decreto N º 15.371 (PORTO ALEGRE, 2006), este trabalho avalia, portanto o potencial de medidas para reduzir a vazão específica do Parque Ari Barroso até se chegar ao valor indicado de 20,8 L/(s.ha). Da forma como apresentado, a vazão gerada considerando o atual uso e ocupação do Parque, deveria ser reduzida em cerca de 90,2 % de seu valor.

3.5.2 Cenário 2

Estão sendo propostas determinadas técnicas compensatórias de modo a otimizar a operação do sistema de drenagem de águas pluviais do Parque Ary Barroso. Segundo as informações coletadas por meio do questionário apresentado no Apêndice A, a área do entorno do parque costuma apresentar alagamentos em eventos de “chuvas fortes” associados a outros fatores, como de entupimento de bueiros, assoreamento de canaletas, etc, de modo que se torna prejudicado o acesso ao Parque. Tais informações corroboram com a justificativa e relevância deste trabalho.

Os critérios para o dimensionamento das técnicas também seguem os indicados no Cenário 1: chuva de projeto para um tempo de recorrência de 10 anos (TR 10) e o tempo de precipitação de 16 minutos, assumido idêntico ao valor do tempo de concentração calculado pela fórmula de *Kirpich*.

3.5.2.1 Trincheira de Infiltração

Na ausência de um estudo das propriedades físicas do solo do parque urbano, utilizou-se os dados experimentais obtidos por Graciosa *et al*. (2008), para dimensionamento de uma trincheira de infiltração em dois tipos de solos da cidade de São Carlos – SP. O mesmo valor foi utilizado no trabalho de Ohnuma Jr. (2008). A partir destes estudos, adotou-se o valor de sortividade igual a 0,00571 $m^3/m^2.s$.

Além das características do solo, para o dimensionamento da trincheira de infiltração, foi necessário selecionar o material utilizado no interior das valetas. Para este trabalho, foi adotada brita com 45% de porosidade. Tal valor foi selecionado a partir de valores indicados na literatura, conforme Quadro 21.

Quadro 21 - Valores de referência de porosidade do material de preenchimento da trincheira de infiltração

Autor	Tipo de Trabalho	Material Utilizado	Porosidade
Silveira (2003)	Teórico	Brita	38%
Silveira e Goldenfum (2007)	Teórico	Brita	38%
Graciosa *et al.* (2008)	Teórico	Brita 3	45%
Ohnuma Jr (2008)	Experimental	Brita	45%
Sievers e Pinheiro (2013)	Teórico	-	38%
Feitosa (2015)	Teórico	Brita Grossa	30%
Melo (2015)	Experimental	Brita 19	33%
Nunes *et al.* (2017)	Teórico	Brita	45%

Fonte: O Autor, 2017

3.5.2.2 Pavimento Permeável

Conforme indicado no item 2.6.3.2 (Metodologia de Dimensionamento do Pavimento Permeável), para o dimensionamento do pavimento permeável é necessária a transformação dos parâmetros da IDF convencional para a chamada IDF de Talbot. Ao aplicar as equações apresentadas no Quadro 8 (item 2.6.3.2 – Metodologia de Dimensionamento do Pavimento Permeável), tem-se:

$$a = 0{,}68 \times 5986{,}27 \times \exp(0{,}06 \times 1{,}05^{-0{,}26} \times 29{,}07^{1{,}13}) = 62688{,}19$$

$$b = 0{,}157$$

$$c = 1{,}32 \times 1{,}05^{-2{,}28} \times 29{,}7^{0.89} = 24{,}155$$

Para efetuar a correção do valor do coeficiente a, igualou-se a chuva de projeto encontrado pela IDF convencional e a de Talbot. O Quadro 22 apresenta os parâmetros da equação de Talbot.

Quadro 22 - Parâmetros da equação de Talbot

a	b	c
4344,993	0,157	24,155

Fonte: O Autor, 2017

Assim como na trincheira de infiltração, o material utilizado na camada de reservatório do pavimento foi a brita com 45% de porosidade, com base em orientações do uso deste material em diversos trabalhos, conforme apresentado no Quadro 23.

Quadro 23 - Valores de referência de porosidade de materiais de preenchimento do pavimento permeável

Autor	Tipo de Trabalho	Material Utilizado	Porosidade
Araújo *et al*. (2000)	Teórico*	Brita 3	48%
Silveira (2003)	Teórico	Brita	35%
Acioli *et al*. (2003)	Experimental	Brita	30%
Acioli (2005)	Experimental	Brita	36%
Silveira e Goldenfum (2007)	Teórico	Brita	35%
Virgiliis (2008)	Experimental	Brita 3	45%
Tominaga (2013)	Experimental	Macadame betuminoso e hidráulico	40%
Nunes *et al.* (2017)	Teórico	Brita	45%

*obtido por ensaios

Fonte: O Autor, 2017

De acordo com Santos e Castro (2006), para Argissolo Vermelho-Amarelo obteve-se um valor de condutividade hidráulica igual a 6 mm/h. Por falta de trabalhos publicados sobre estudos geotécnicos na região, foi utilizado esse valor no dimensionamento do pavimento poroso.

E, por ser tratar de uma área densamente urbanizada com alterações nas características do sistema de drenagem na bacia, elevam-se as chances de ocorrência de inundações e enchentes urbanas, de modo a ocasionar prejuízos na região. Desse modo, recomenda-se aplicar um coeficiente de redução de 0,1 no valor da taxa de infiltração (CIRIA, 1996). Este coeficiente também se aplica devido a possibilidade de colmatação do pavimento permeável.

3.5.2.3 Sub-Área de Drenagem A

No cenário 1 (sem intervenção), para a chuva de projeto com um tempo de recorrência de 10 anos e um tempo de chuva de 16 minutos, o que equivale a 152,8 mm/h, conforme resultados obtidos no item intitulado “Cenário 1” (3.5.1). O Quadro 24 apresenta as características da sub-área A:

Quadro 24 - Características hidrológicas da Sub-Área de Drenagem A

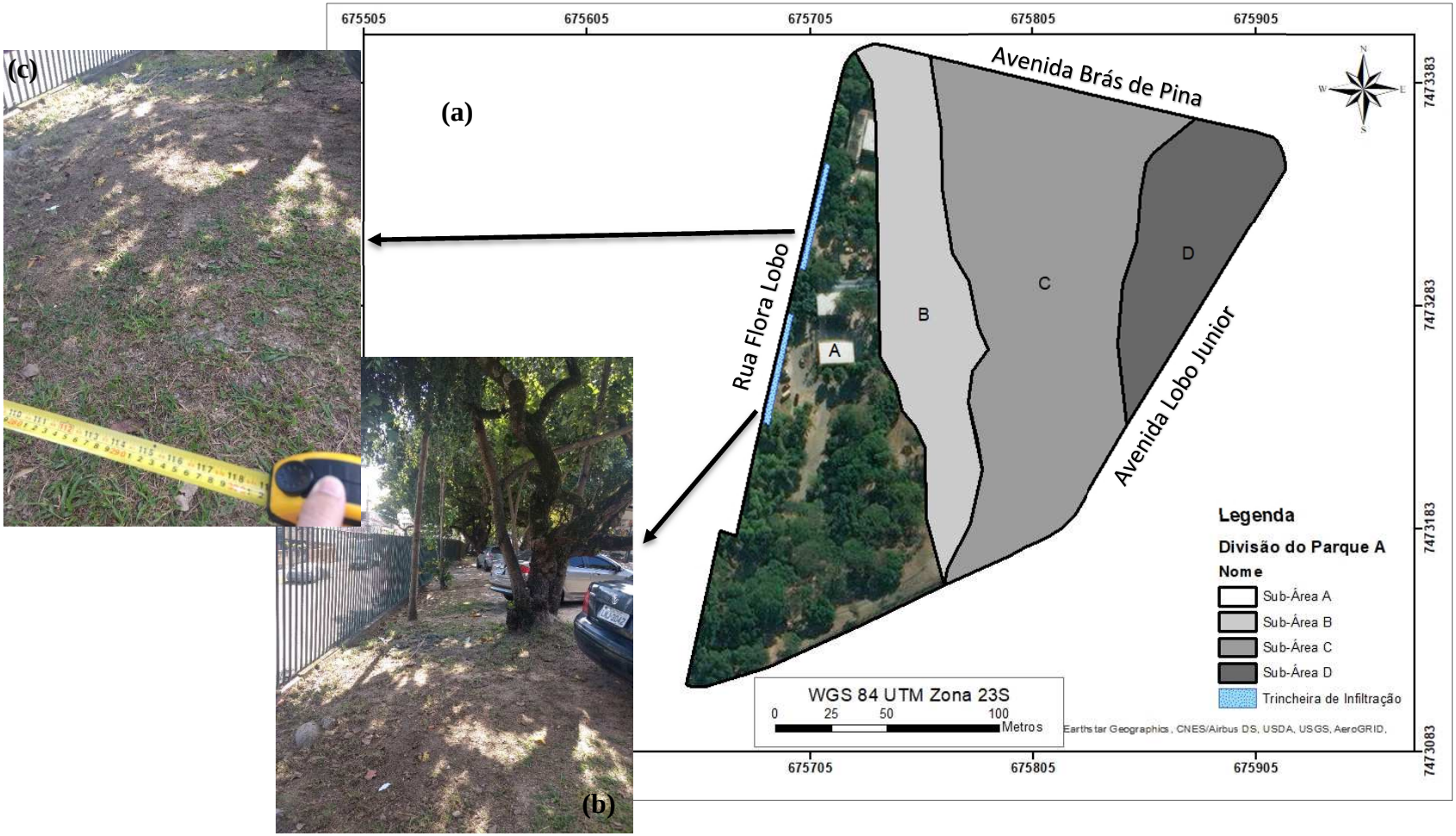
Área (m^2)	**C (*runoff*)**	**Q (m^3/s)**
14570 m^2	0,46	0,29

Fonte: O Autor, 2017

Devido às características dos caminhos de drenagem desta região, optou-se por utilizar trincheiras de infiltração no limite oeste com a Rua Flora Lôbo. Após realizar diversas tentativas de possibilidades de amortecimento do escoamento superficial, optou-se por armazenar 25% do escoamento superficial gerado por toda a área da sub-área A, ou seja, 0,07 m^3/s.

Foram selecionadas duas áreas que contam com uma distância média de 3,0 m, medida *in loco* (Figura 22), entre as árvores e o limite do parque, para a implantação de duas trincheiras, com 50 m de comprimento cada uma. O espaçamento foi um fator limitador no dimensionamento da trincheira, visto que se procurou não realizar nenhuma eventual supressão vegetal, além de se evitar problemas com relação às raízes das árvores.

Figura 22 - Área escolhida para locar teoricamente as trincheiras de infiltração na Sub-Área de Drenagem A



Legenda: (a) localização das trincheiras; (b) Local escolhido para a implantação das trincheiras; (c) Indicação da distância entre o limite do parque e as árvores;

Fonte: O Autor, 2017

Ao aplicar as equações do método da curva envelope (2.6.3.1 – Metodologia de Dimensionamento da Trincheira de Infiltração), pôde-se chegar nos resultados:

I_{acm} = 0,18 m³/m² (infiltração acumulada);
V_{inf} = 17,69 m³ (volume infiltrado);
V_{armz} = 57,32 m³ (volume a ser armazenado).

No preenchimento da valeta com material de brita, cuja porosidade é de 45%, para conseguir armazenar os 57,32 m³, obteve-se o volume da trincheira (V_{tr}) igual a 127,38 m³. Dessa forma, a trincheira pode estar com as dimensões apresentadas no Quadro 25:

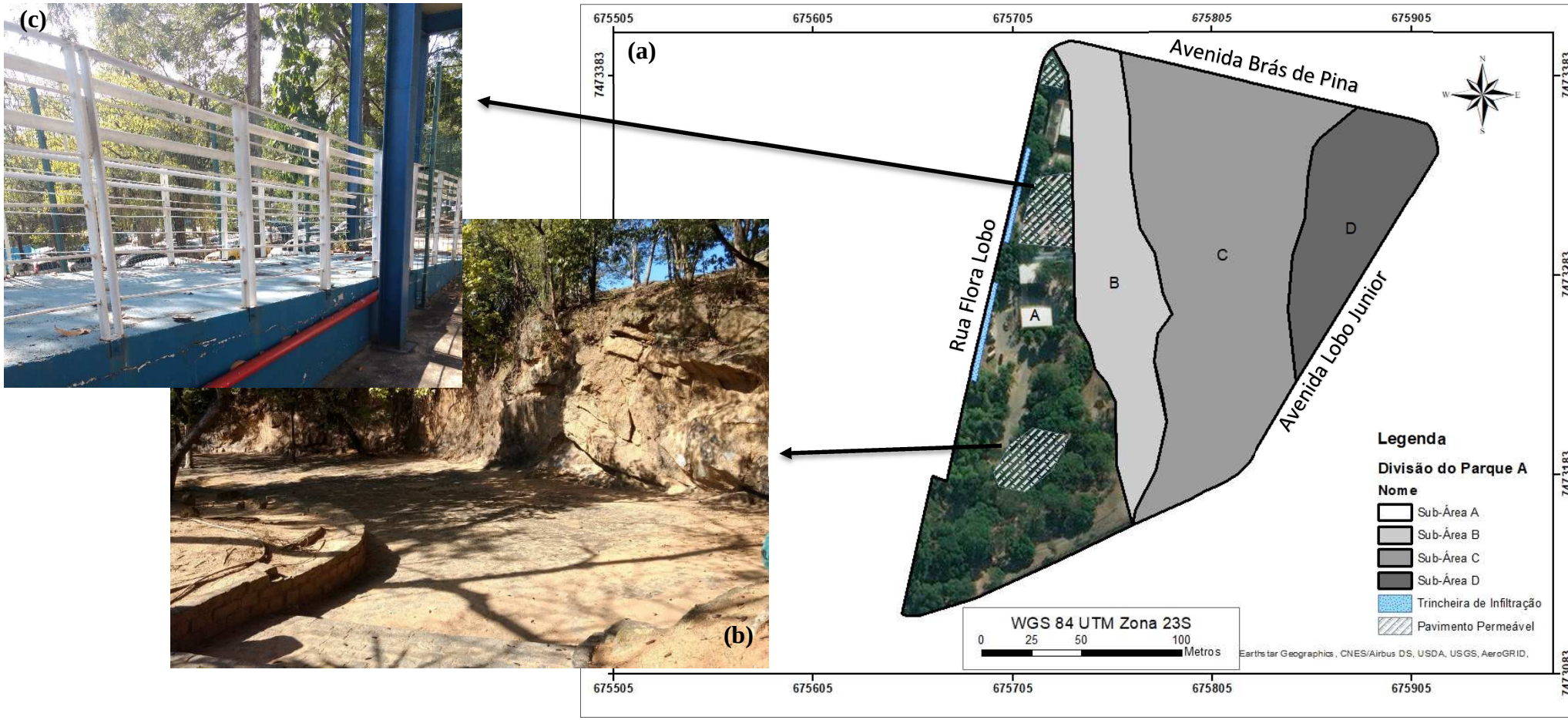
Quadro 25 - Dimensões das trincheiras de infiltração da Sub-Área de Drenagem A

Comprimento	**Largura**	**Altura**
2 x 50 m	1,2 m	1,0 m

Fonte: O Autor, 2017

Para o dimensionamento do pavimento permeável, constam definidos locais planos e que, em sua maioria, eram utilizados como áreas de estacionamento de veículos para funcionários e visitantes (Figura 23).

Figura 23 - Áreas escolhidas para locar teoricamente o pavimento permeável na Sub-Área de Drenagem A



Legenda: (a) Localização dos pavimentos permeáveis; (b) Local, na parte alta do parque, escolhido para a implantação do pavimento ; (c) Local ao fundo da rampa de acesso da Arena Dicró, na parte baixa do parque, utilizado como estacionamento e escolhido para a implantação do pavimento.

Fonte: O Autor, 2017

A área de contribuição dos locais selecionados para implantação do pavimento permeável, correlacionado ao coeficiente de *runoff* ponderado de 0,46, corresponde a 75% do escoamento superficial gerado pela chuva de projeto de 152,8 mm/h, com uma duração de 16 minutos. A área total de pavimento permeável na sub-área A é de 1670 m^2.

Ao aplicar o método da curva envelope, com os coeficientes da IDF de Talbot apresentados no item 3.5.2.2 (Pavimento Permeável), obtiveram-se os seguintes resultados:

qs= 0,6 mm/h (taxa de infiltração do solo);
β=1,518;
Vmax = 109,28 mm (volume máximo a ser armazenado).

Ao utilizar uma brita com 45% de porosidade, obteve-se uma altura de camada drenante de 24,28 cm, necessários para atender o volume de 109,28 mm. Para fins de projeto, foi indicado uma altura de **25 cm**.

3.5.2.4 Sub-Área de Drenagem B

No cenário sem intervenção (Cenário 1), para as condições indicadas anteriormente, a sub-área B tem as características apresentadas no Quadro 26:

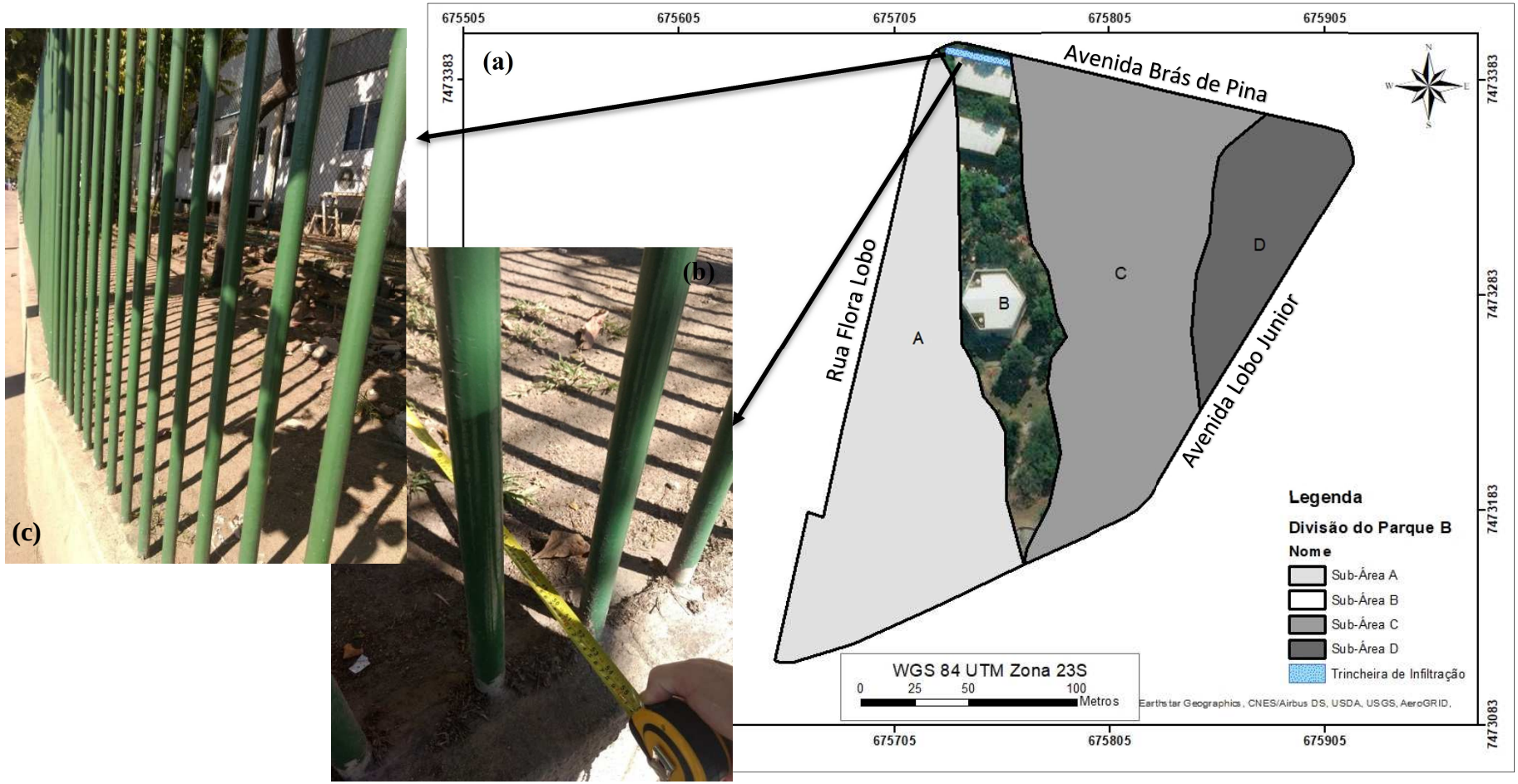
Quadro 26 - Características hidrológicas da Sub-Área de Drenagem B

Área (m^2)	**C (*runoff*)**	**Q (m^3/s)**
7040 m^2	0,53	0,16

Fonte: O Autor, 2017

A trincheira foi locada e dimensionada no limite norte do parque com a Avenida Brás de Pina, para amortecer, basicamente, o escoamento superficial gerado pelo telhado de um prédio da UPP, o que corresponde a cerca de 12% da vazão gerada pela sub-área de drenagem B. O comprimento escolhido para tal técnica corresponde a 30 m, já a largura teórica possível para a implantação da trincheira, considerando a proximidade das árvores e de benfeitorias, foi medida in loco e resultou em cerca de 1,30 m (Figura y). Esta largura foi um limitante para o dimensionamento da trincheira.

Figura 24 - Área escolhida para locar teoricamente a trincheira de infiltração na Sub-Área de Drenagem B



Legenda: (a) Localização da trincheira de infiltração; (b) Local escolhido para a implantação das trincheiras, atrás da UPP; (c) Indicação da distância entre o limite do parque e as árvores;

Fonte: O Autor, 2017

Aplicando as equações do método da curva envelope, pôde-se chegar nos seguintes resultados:

I_{acm} = 0,18 m³/m² (infiltração acumulada);
V_{inf} = 5,31 m³ (volume infiltrado);
V_{armz} = 13,25 m³ (volume a ser armazenado).

Ao utilizar a brita com porosidade de 45%, para armazenar o volume encontrado de 13,25 m³, obteve-se um V_{tr} (volume da trincheira) = 29,45 m³. Para atender tal volume, a trincheira ficou com as dimensões apresentadas no Quadro 27.

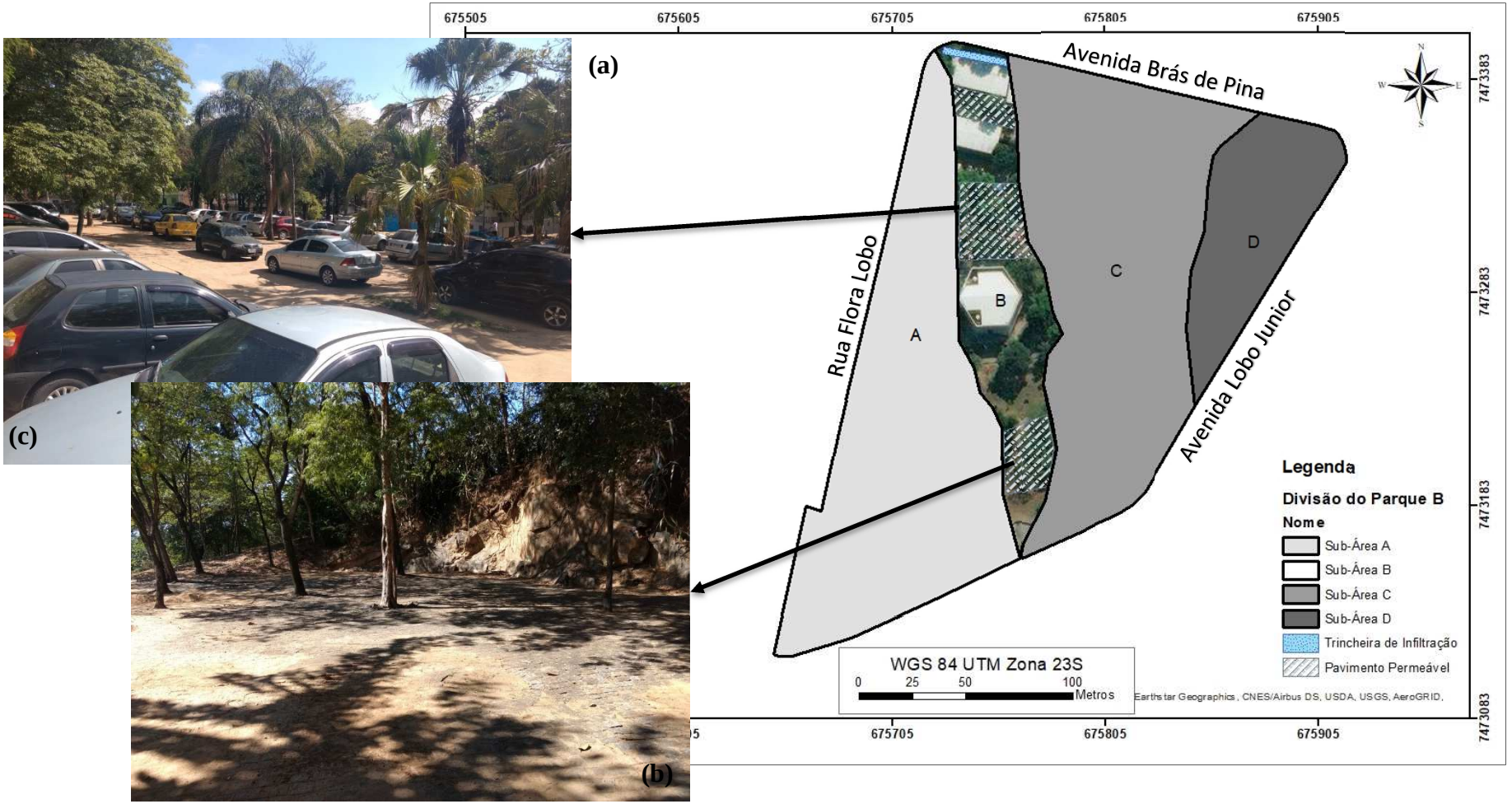
Quadro 27 - Dimensões das trincheiras de infiltração da Sub-Área de Drenagem A

Comprimento	Largura	Altura
30 m	1,0 m	1,0 m

Fonte: O Autor, 2017

Já para o dimensionamento do pavimento poroso, optou-se por locais planos e que, em sua maioria, eram utilizados como estacionamentos (Figura 25).

Figura 25 - Áreas escolhidas para locar teoricamente o pavimento permeável.



Legenda: (a) Localização do pavimento permeável; (b) Local, na parte alta do parque, escolhido para a implantação do pavimento ; (c) Local, na parte baixa do parque, utilizada como estacionamento.

Fonte: O Autor, 2017

A área que contribui para os locais escolhidos como pavimento permeável, correlacionada com o coeficiente de *runoff* ponderado de 0,53, corresponde aos 88% restantes do escoamento superficial gerado pela chuva de projeto escolhida (152,8 mm/h). A área total de pavimento permeável na sub-área B é de 2150 m^2.

Ao aplicar o método da curva envelope, com os coeficientes da IDF de Talbot apresentados no item 3.5.2.2 (Pavimento Permeável), obtiveram-se os resultados:

qs = 0,6 mm/h (taxa de infiltração do solo);
β = 2,205;
Vmax = 188,87 mm (volume máximo a ser armazenado).

Ao utilizar uma brita com 45% de porosidade, obteve-se uma altura de camada drenante de 41,97 cm, suficiente para armazenar os 188,87 mm encontrados. Para fins de projeto, foi indicado uma altura de 42 cm.

3.5.2.5 Sub-Área de Drenagem C

No cenário sem intervenção, para as condições citadas nos itens anteriores, a sub-área de drenagem C tem as características hidrológicas apresentadas no Quadro 28.

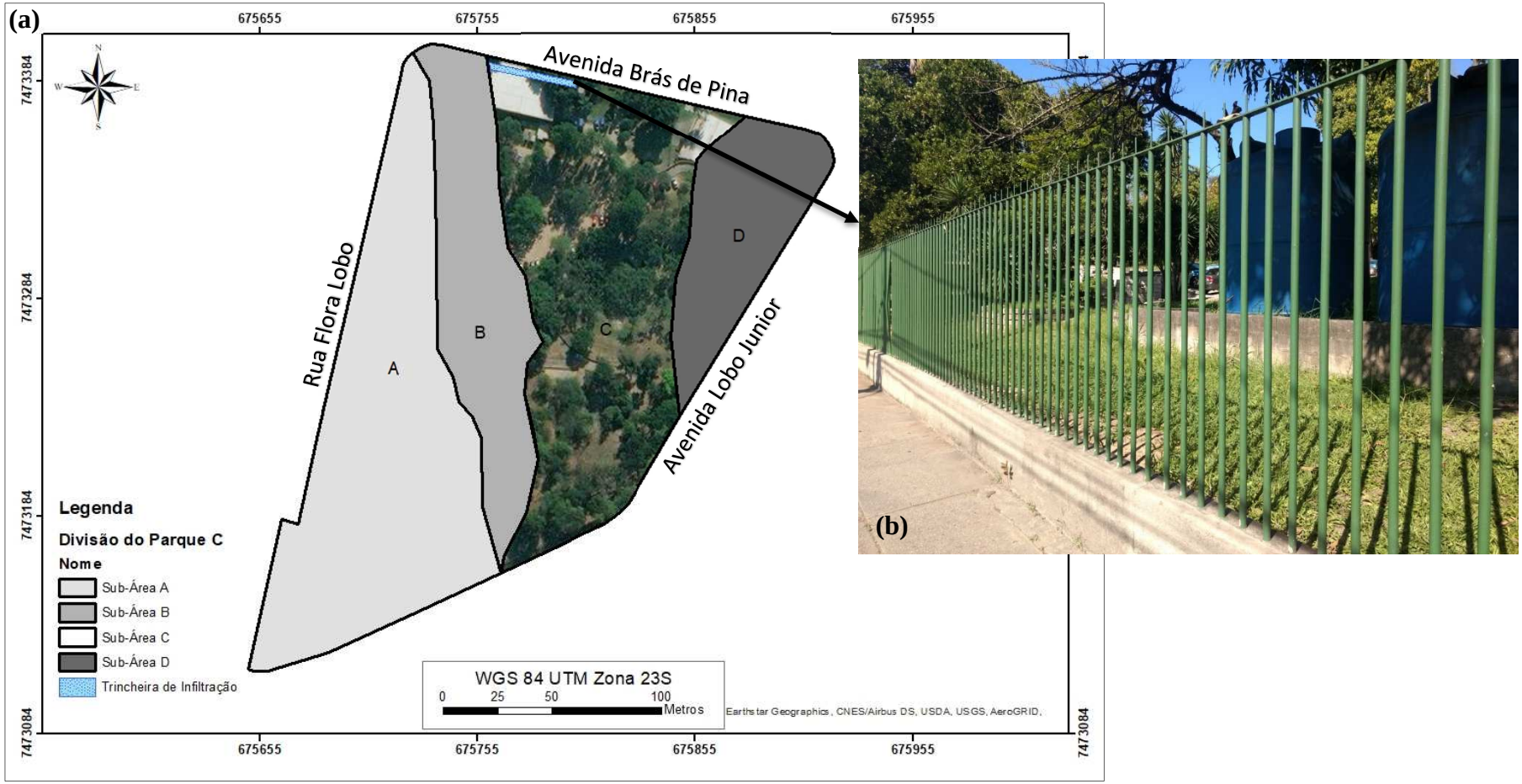
Quadro 28 - Características hidrológicas da Sub-Área de Drenagem C

Área (m^2)	**C (*runoff*)**	**Q (m^3/s)**
15505 m^2	0,47	0,31

Fonte: O Autor, 2017

A trincheira foi locada e dimensionada no limite norte do parque com a Avenida Brás de Pina (Figura 26), para armazenar, basicamente, o escoamento superficial gerado pelo telhado do outro prédio da UPP, o que, assim como na sub-área B, também corresponde a cerca de 12% da vazão gerada por toda a sub-área de drenagem C. O comprimento escolhido para a trincheira é de 40 m, já a largura teórica possível para a implantação da trincheira, considerando a proximidade das árvores e de benfeitorias, é de cerca de 3,0 m. Esta largura foi um fator limitador para o dimensionamento da trincheira.

Figura 26 - Área escolhida para locar teoricamente a trincheira de infiltração na Sub-Área de Drenagem C



Legenda: (a) Localização da trincheira de infiltração; (b) Local escolhido para a implantação das trincheiras, próxima à UPP.

Fonte: O Autor, 2017

Aplicando as equações do método da curva envelope, pôde-se chegar nos seguintes resultados:

I_{acm} = 0,18 m³/m² (infiltração acumulada);
V_{inf} = 7,08 m³ (volume infiltrado);
V_{armz} = 29,17 m³ (volume a ser armazenado).

Ao utilizar a brita com porosidade de 45%, para armazenar os 29,17 m³ de água, encontrou-se um V_{tr} (volume da trincheira) = 64,83 m³. Para atender tal volume, a trincheira ficou com as dimensões apresentadas no Quadro 29:

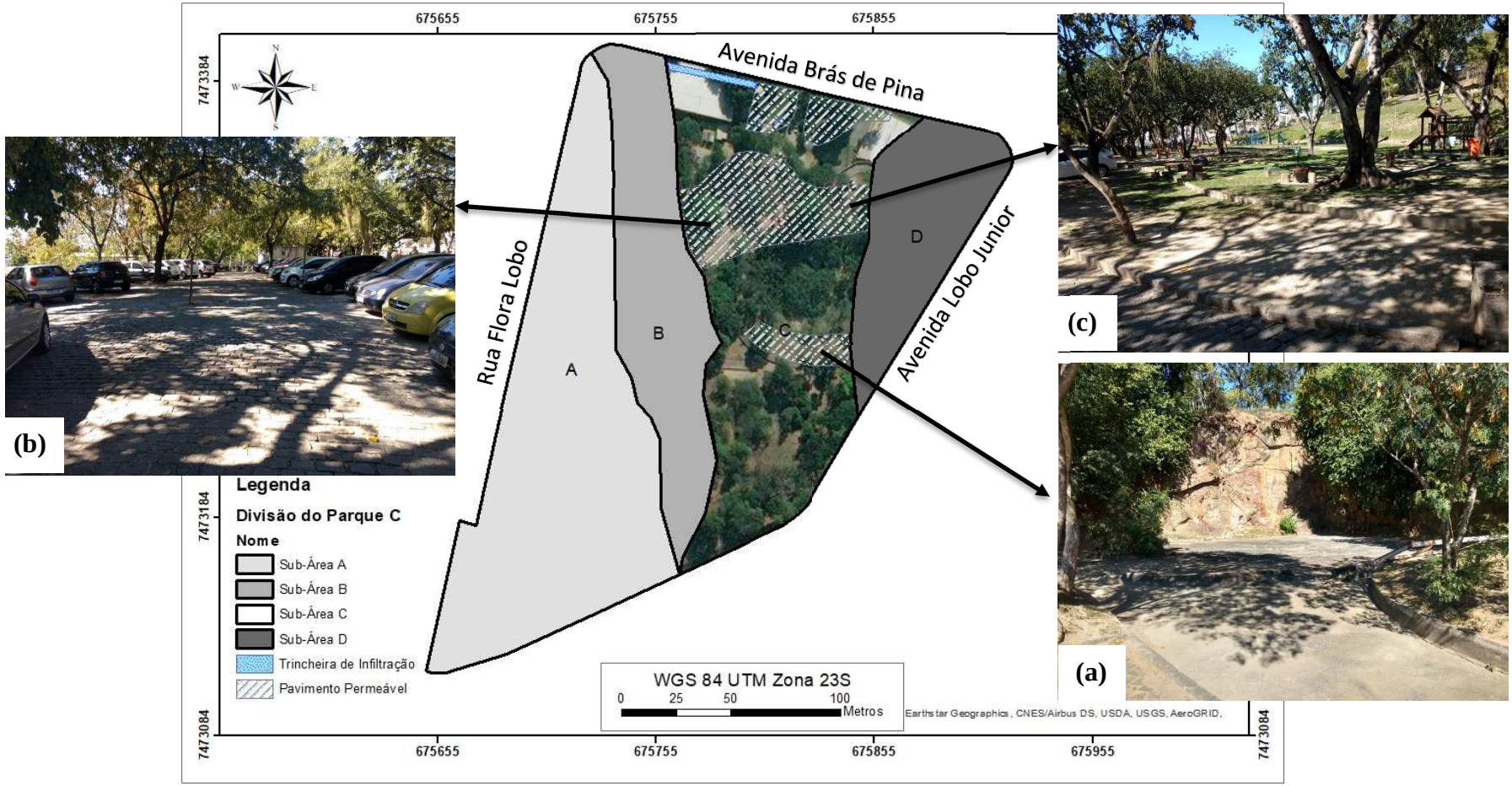
Quadro 29 - Dimensões das trincheiras de infiltração da Sub-Área de Drenagem C

Comprimento	Largura	Altura
40 m	1,7 m	1,0 m

Fonte: O Autor, 2017

Já para o dimensionamento do pavimento permeável, assim como nas outras regiões e seguindo o critério apresentado na metodologia deste trabalho, optou-se por locais que, em sua maioria, eram utilizados como estacionamentos. No caso específico desta sub-área, ainda se escolheu uma área que conta com aparelhos de ginástica e de lazer (Figura 27).

Figura 27 - Áreas escolhidas para locar teoricamente o pavimento permeável na Sub-Área de Drenagem C



Legenda: (a) Local, na parte um pouco mais alta do parque, escolhido para a implantação do pavimento; (b) Local, na parte baixa do parque, utilizada como estacionamento; (c) Local com diversos aparelhos de lazer e de ginástica.

Fonte: O Autor, 2017

A área de contribuição dos locais escolhidos como pavimento permeável, correlacionando com o coeficiente de *runoff*, corresponde aos 88% restantes do escoamento superficial gerado pela chuva de projeto escolhida. A área total de pavimento permeável na sub-área de drenagem C é de 4400 m^2.

Ao aplicar o método da curva envelope, com os coeficientes da IDF de Talbot apresentados no item 3.5.2.2 (Pavimento Permeável), obtiveram-se os resultados:

qs = 0,6 mm/h (taxa de infiltração do solo);
β = 2,186;
Vmax = 187,16 mm (volume máximo a ser armazenado).

Ao utilizar uma brita com 45% de porosidade, obteve-se uma altura de camada de armazenamento igual a 41,59 cm, suficiente para armazenar os 187,16 mm de chuva encontrados. Para fins de projeto, foi indicado uma altura de 42 cm.

3.5.2.6 Sub-Área de Drenagem D

As características hidrológicas da Sub-Área D estão apresentadas no Quadro 30:

Quadro 30 - Características hidrológicas da Sub-Área de Drenagem D

Área (m^2)	**C (*runoff*)**	**Q (m^3/s)**
5045 m^2	0,59	0,13

Fonte: O Autor, 2017

A trincheira foi locada e dimensionada no limite norte do parque com a Avenida Brás de Pina, na área onde funciona uma UPA (Unidade de Pronto Atendimento). Tal técnica foi projetada para que, com uma profundidade de 1,0 m, pudesse armazenar o máximo do escoamento superficial gerado pela sub-área D, considerando que a menor dimensão encontrada ao longo dos 45 m escolhidos para a locação da trincheira é de 2,20 m (Figura 28).

Esta estratégia se fez necessária pois a região em questão não conta com muito espaço para a implantação de pavimento permeável e o coeficiente de escoamento superficial é relativamente alto, principalmente pelos edifícios existentes nesta fração do parque.

Figura 28 - Área escolhida para locar teoricamente a trincheira de infiltração na Sub-Área D

Legenda: (a) Localização da trincheira de infiltração; (b) Local escolhido para a implantação das trincheiras, na área da UPA; (c) Indicação da menor distância encontrada nesta área.

Fonte: O Autor, 2017

Ao se realizar diversas tentativas com os limitadores supracitados e ao aplicar as equações do método da curva envelope, pôde-se chegar nos seguintes resultados:

I_{acm} = 0,18 m³/m² (infiltração acumulada);
V_{inf} = 7,96 m³ (volume infiltrado);
V_{armz} = 41,39 m³ (volume a ser armazenado).

Ao utilizar a brita com porosidade de 45%, para armazenar o volume de 41,39 m³, encontrou-se um V_{tr} (volume da trincheira) = 91,99 m³. Tais resultados evidenciaram que a máxima vazão amortecida foi de 0,05 m^3/s, o que equivale a 40% do escoamento gerado pela Região D.

Para atender ao volume a ser armazenado, a trincheira apresenta as dimensões (Quadro 31):

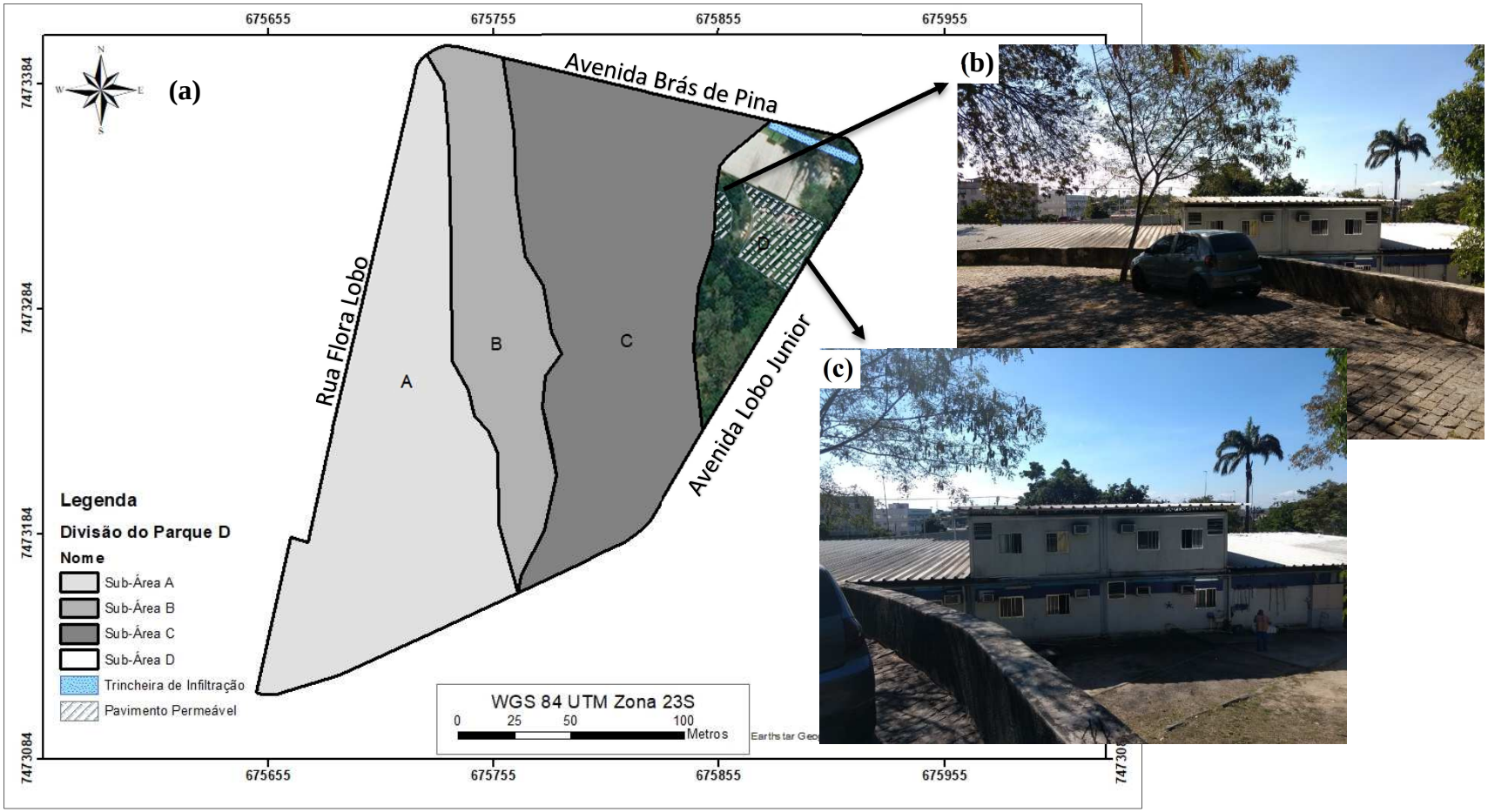
Quadro 31 - Dimensões das trincheiras de infiltração da sub-área de drenagem A

Comprimento	Largura	Altura
45 m	2,0 m	1,0 m

Fonte: O Autor, 2017

Já para o dimensionamento do pavimento permeável, também se optou por locais que são utilizados como estacionamentos, além de uma parte sem benfeitorias próxima à UPA (Figura 29).

Figura 29 - Áreas escolhidas para locar teoricamente o pavimento permeável na Sub-Área de Drenagem D



Legenda: (a) Localização do pavimento permeável; (b) Local utilizado como estacionamento; (c) Local próximo à UPA.

Fonte: O Autor, 2017

A área de contribuição dos locais escolhidos como pavimento permeável corresponde aos 60% restantes do escoamento superficial gerado pela chuva de projeto escolhida. A área total de pavimento permeável na sub-área de drenagem D é de 1080 m^2.

Ao aplicar o método da curva envelope, com os coeficientes da IDF de Talbot apresentados no item 3.5.2.2, obtiveram-se os resultados:

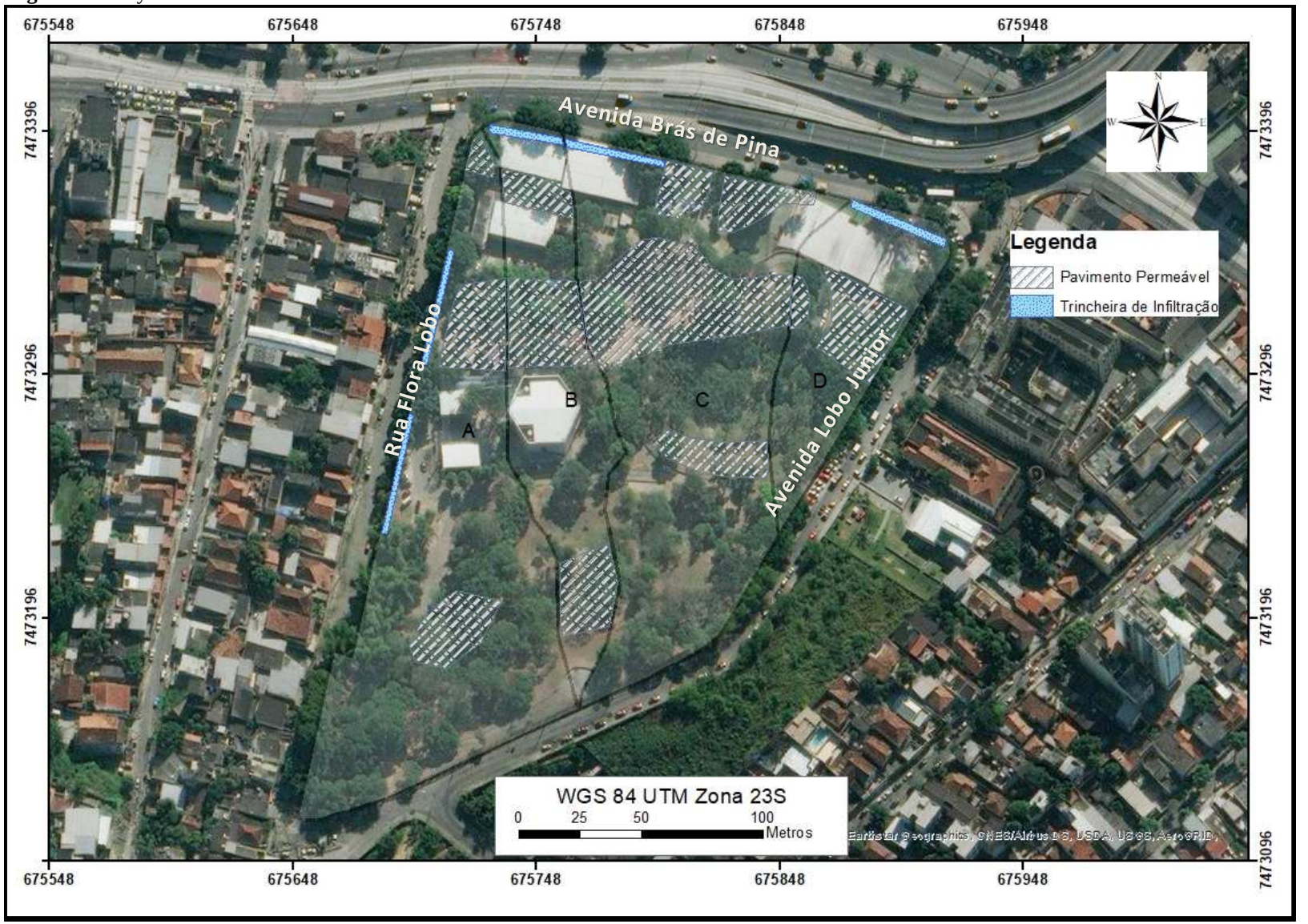
qs = 0,6 mm/h (taxa de infiltração do solo);
β = 3.166;
Vmax = 186,92 mm (volume máximo a ser armazenado).

Ao utilizar uma brita com 45% de porosidade, obteve-se uma altura de camada de armazenamento igual a 41,54 cm. Para fins de projeto, foi indicado uma altura de 42 cm.

3.5.2.7 Consolidação das Técnicas Compensatórias

Como forma de facilitar o entendimento dos resultados, criou-se a tabela resumo apresentado no Quadro 32, assim como a Figura 30 que indica a localização das técnicas compensatórias estudadas para o Parque Ary Barroso:

Figura 30 - Layout do Cenário 2



Fonte: O Autor, 2017

Quadro 32 - Resumo das técnicas compensatórias ao longo do Parque Ary Barroso

Sub-Área A		**Sub-Área B**		**Sub-Área C**		**Sub-Área D**	
Características Iniciais		**Características Iniciais**		**Características Iniciais**		**Características Iniciais**	
A	14570 m²	A	7040 m²	A	15505 m²	A	5045 m²
C (*runoff*)	0,46	C (*runoff*)	0,53	C (*runoff*)	0,47	C (*runoff*)	0,59
QTR10	0,29 m³/s	QTR10	0,16 m³/s	QTR10	0,31 m³/s	QTR10	0,13 m³/s
Tempo de Chuva	16 min	Tempo de Chuva	16 min	Tempo de Chuva	16 min	Tempo de Chuva	16 min
Volume	277,83 m³	Volume	154,67 m³	Volume	302,86 m³	Volume	123,39 m³
Técnicas Utilizadas		**Técnicas Utilizadas**		**Técnicas Utilizadas**		**Técnicas Utilizadas**	
Dimensões das 2 (duas) Trincheiras (25% do escoamento superficial)	H = 1 m	Dimensões da Trincheira (12% do escoamento superficial)	H = 1 m	Dimensões da Trincheira (12% do escoamento superficial)	H = 1 m	Dimensões da Trincheira (40% do escoamento superficial)	H = 1 m
	L = 50 m		L = 30 m		L = 40 m		L = 45 m
	B = 1,2 m		B = 1 m		B = 1,7 m		B = 2 m
Pavimento Permeável (75% do E,S,)	A = 1670 m²	Pavimento Permeável (88% do E,S,)	A = 2150 m²	Pavimento Permeável (88% do E,S,)	A = 4400 m²	Pavimento Permeável (60% do E,S,)	A = 1080 m²
	H = 0,25 m		H = 0,42 m		H = 0,42 m		H = 0,42 m

Fonte: O Autor, 2017.

Os resultados apresentados para o cenário 1 exprimem que o Parque Ary Barroso, em um evento com a chuva intensa proposta, uma vazão de cerca de 0,89 m^3/s é direcionada aos sistemas de drenagem a jusante. Enquanto com as técnicas propostas (Cenário 2), conseguiu-se amortecer 100% da do escoamento superficial gerado por todo o Parque.

O amortecimento de 100% da vazão gerada pelo Parque só foi possível pois existe, na área de estudo, diversos locais capazes de suportar as técnicas propostas neste trabalho. Em muitos casos, principalmente pela falta de espaço físico, não é possível amortecer todo o escoamento superficial gerado por uma determinada área. Para esses casos, pode-se citar os trabalhos de Silveira e Goldefum (2007) e Nunes *et al.* (2017), que realizaram os dimensionamentos de diversas técnicas compensatórias com base no Decreto Nº 15.371 (PORTO ALEGRE, 2006), o qual exige que o escoamento gerado de uma determinada área não ultrapasse a vazão específica de 20,8 L/(s.ha).

CONCLUSÕES

Um dos objetivos da pesquisa foi avaliar determinadas metodologias de dimensionamento de estruturas de reservação de águas pluviais, como se o reservatório implantado no parque estava bem dimensionado. Para isso foi necessário estimar uma demanda de uso de água para fins não potáveis, que resultou em 17,3 m³ mensais, utilizados na lavagem do pátio da Arena Dicró e na descarga sanitária dos banheiros dos funcionários do espaço cultural, além da organização e consolidação dos dados pluviométricos da estação da Penha. Com uma chuva média anual de 906,68 mm, verificou-se que o reservatório não apresenta dimensões apropriadas segundo as metodologias apresentadas. Além disso, foi verificado que, em uma análise da disponibilidade hídrica correlacionada a demanda calculada, o reservatório não conseguiu atender 2 meses dentro de um ano de chuvas médias. De outra forma, foi calculada a capacidade máxima de atendimento do reservatório, para uma disponibilidade hídrica de 14,4 m³ ao mês, o sistema atende à demanda de lavagem de pátio e cerca de 70% do uso em descargas sanitárias dos banheiros de funcionários.

Outro objetivo da dissertação foi analisar a possibilidade de dimensionar técnicas compensatórias ao longo do Parque Ary Barroso para que pudessem amortecer o escoamento superficial gerado pelo mesmo. Foi verificado que a vazão gerada pelo Parque, na situação sem intervenções (cenário 1) para uma chuva de projeto com um tempo de recorrência 10 anos (TR 10) e 16 minutos de duração, é igual a 0,89 m³/s. Com o dimensionamento das técnicas (cenário 2), foi possível armazenar e amortecer totalmente o escoamento superficial gerado pela área de estudo. Ou seja, com a implantação das técnicas compensatórias de drenagem propostas e a conexão da drenagem nos dispositivos, para intensidades pluviométricas com período de retorno de 10 anos, o Parque Ary Barroso alivia o sistema de drenagem a jusante, ou seja deixa de despejar cerca de 0,89 m³/s ou um volume de aproximadamente 856 m³, em 16 minutos de chuva intensa.

O estudo de caso avaliado no trabalho mostrou que as técnicas compensatórias auxiliam na gestão sustentável das águas pluviais já que amortecem as vazões do escoamento superficial e podem contribuir para a redução dos impactos gerados pelas inundações. Assim como, sistemas de aproveitamento de águas de chuva podem auxiliar nessa gestão, reservando águas pluviais para fins menos nobres, podendo serem utilizadas em épocas de estiagem. Ou seja, uma gestão sustentável tem que avaliar e propor soluções para os dois extremos hidrológicos: a seca e a cheia.

Além das conclusões principais, relacionadas aos objetivos da dissertação e explicitadas nos parágrafos anteriores, são destacadas outras conclusões verificadas ao longo do trabalho:

- As ferramentas *ArcGIS*® e *Google Earth*® se mostraram eficientes na obtenção e tratamento de diversos dados acerca do Parque Ary Barroso e o seu entorno;
- A criação de um Modelo Digital de Terreno (MDT) auxiliou na obtenção de dados referentes à declividade do terreno, o que foi utilizado na elaboração do uso e ocupação do Parque Ary Barroso e na escolha dos coeficientes de *runoff*, e às linhas de drenagem, que ajudou no dimensionamento das técnicas compensatórias;
- Foi realizada a organização, em planilhas do *MS Excel*, dos dados pluviométricos obtidos a partir do sistema Alerta Rio, obtidos de 15 em 15 minutos, no período de 197 a 2016. Não foram identificadas grandes falhas ao longo desses 20 anos. A obtenção de um histograma com as médias mensais foi essencial para a análise do dimensionamento do reservatório e da disponibilidade hídrica para fins não potáveis;
- As informações obtidas a partir do questionário foram fundamentais para verificar que o local no entorno do parque e os próprios acessos, sofrem com alagamentos em épocas de chuvas intensas. Além de terem subsidiado na obtenção de informações estruturais da Arena Dicró;
- A análise da demanda de água para fins não potáveis foi realizada de forma teórica, com ajuda de respostas ao questionário, e sem o auxílio de informações como contas de água ou leitura de hidrômetro, o que poderiam facilitar na obtenção de um uso de água mais preciso;
- As metodologias de dimensionamento de reservatórios encontraram valores entre 12,8 m³ e 57,12 m³;
- O volume do reservatório existente está abaixo dos obtidos por meio dos diferentes métodos de dimensionamento. Contudo esta informação deve ser avaliada com cautela, pois a demanda utilizada em algumas metodologias foi obtida de forma teórica e com base na literatura existente, pois não foi possível saber qual a metodologia aplicada nem a demanda utilizada para tal;
- Com a demanda teórica de 17,3 m³ mensais, o reservatório existente, de 10,8 m³, se mostrou ineficiente para 2 meses: agosto e setembro;

- Inversamente ao supracitado, foi verificada qual a demanda máxima possível de atender com o reservatório existente. Esse valor foi igual a 14,4 m³;
- Apesar do parque ser uma área vegetada, o estudo mostrou que o escoamento superficial gerado pelo Cenário 1 (situação atual), no valor de 0,89 m³/s, é considerável. Tal valor tem justificativa principalmente pelo valor de coeficiente de *runoff* ponderado de 0,49, valor que inicialmente pensou-se ser menor. Isso se deu, principalmente, pela declividade acentuada em certas áreas do parque, além da impermeabilização feita na parte baixa do parque urbano;
- O Cenário 2 apresentou o dimensionamento e locação de técnicas compensatórias para amortecer o escoamento superficial gerado pelo Parque Ary Barroso. O estudo indicou que, para uma chuva com um tempo de recorrência de 10 anos e duração de 16 minutos, as técnicas conseguiriam amortecer todo o escoamento superficial, aliviando o sistema de drenagem a jusante do parque em 0,89 m³/s.

A pesquisa contribui na apresentação de metodologia relacionada ao dimensionamento e verificação de disponibilidade hídrica para fins não potáveis em área de Parque Urbano, e na análise do amortecimento de vazões de pico e volumes gerados pelo escoamento superficial.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros no Parque Ary Barroso e/ou que tratem de técnicas compensatórias e o aproveitamento de águas pluviais, recomenda-se:

- aprofundar o estudo de demanda de água do Parque Ary Barroso e não somente da Arena Dicró;
- detalhar o sistema de drenagem existente no local de interesse, com a proposta de substituir as canaletas por trincheiras de infiltração;
- realizar um estudo orçamentário para a proposta deste trabalho ou similar, comparando com os custos de implantação e manutenção de drenagem convencional, além de quantificar a economia gerada pelo uso das águas de captação;
- avaliar a possibilidade de utilização de águas captadas pelas técnicas compensatórias, com objetivo de avaliar alterações na qualidade da água a jusante dos dispositivos e como pode ser aproveitada;
- discutir outras técnicas compensatórias, como telhados verdes e poços de infiltração;
- considerar o efeito da implantação dessas técnicas em diversos pontos da bacia hidrográfica e avaliar o impacto no volume gerado pelo escoamento superficial, assim como nas vazões de pico;
- reproduzir a implantação de técnicas compensatórias em outras bacias urbanizadas, prever cenários em conjunto com outros parques urbanos e verificar o amortecimento das vazões de pico dessas bacias;
- realizar estudos de simulação e modelagem hidrodinâmica com a implantação de técnicas compensatórias .

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-15.527: *Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis*. Rio de Janeiro, 2007. 11 p.

ABNT. NBR 10884: *Instalações prediais de águas pluviais*. 1989.

ABNT. NBR 15527: *Água de chuva: aproveitamento em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos*. Rio de Janeiro, 2007.

ACIOLI, L. A. *Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte*. 2005. 161 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Hidráulica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

ACIOLI, L. A.; AGRA, S. G; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. *Implantação de um módulo experimental para análise da eficiência de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial na fonte*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15, 2003, Curitiba. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003, 19 p.

ALERTA RIO. *Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro*. Registro de dados pluviométricos. Disponível em: <http://alertario.rio.rj.gov.br/>. Acesso em: 20 de dezembro de 2016.

AMARAL, D. P. B. *Aplicação do modelo hidrológico SWMM na gestão das águas pluviais urbanas: estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio Morto*. 2014. 153f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2014.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, abr./jun., 2008.

ANA. *Água: Fatos e tendências*. 2º ed. ANA; CEBDS, Brasília, 2009.

_____. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Informe 2012*. Ed. Especial. Brasília: 2012.

_____. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Informe 2013*. Brasília: 2013.

_____. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Informe 2014*. Encarte especial sobre a Crise Hídrica. Brasília: 2014.

_____. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. Informe 2016*. Brasília: 2016.

ARAÚJO, M. A. R. *Subsídios ao planejamento do sistema estadual de unidades de conservação: tamanho, representividade e gestão de parque em Minas Gerais*. 2004. 274 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2004.

ARAÚJO, P. R.; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, volume 5, n. 3, 21-29, Jul/Set, 2000.

ARKSY, I. G.; SANTANA, V. L. *Construindo saberes, cisternas e cidadania: formação para a convivência com o semiárido brasileiro*. Curso 3: Acesso à água – Demanda hídrica. 2015. Disponível em: < http://plataforma.redesan.ufrgs.br/biblioteca/pdf_bib.php?COD_ARQUIVO=18178>. Acessado em: 12 de março de 2017.

ASCE. *Design and Construction of sanitary and storm sewers*. New York (Manuals and Reports of Engineering Practice, 37), 1969.

AUSTRALIA. *Evaluating Options for Water Sensitive Urban Design – A National Guide*. 2009. Disponível em: <https://www.environment.gov.au/system/files/resources/1873905a-f5b7-4e3c-8f45-0259a32a94b1/files/wsud-guidelines.pdf>. Acessado em: 15 de abril de 2017.

BAHIENSE, J. M. *Avaliação de Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana Baseadas no Conceito de Desenvolvimento de Baixo Impacto, com o Apoio de Modelagem Matemática*. 2013. 144 p. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2013

BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L. *Hydrologie Urbaine*. Notas de aula. INSA Lyon, 2006

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Brasília, 1997.

_____. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. *Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências*. Brasília, 2007.

_____. Projeto de Lei – PL nº 7.818. *Estabelece a Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua promoção*. Brasília, 2014.

_____. Resolução do CONAMA Nº 369, de 28 de março de 2006. *Dispõe sobre os casos excepcionais, de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em Área de Preservação Permanente APP*. Brasília, 2006.

BRASÍLIA. *Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Agenda 21. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. 1995. 475p.

CÂMARA, F. P.; GOMES, A. F.; SANTOS, G. T.; CÂMARA, D. C. Clima e epidemias de dengue no Estado do Rio de Janeiro. *Rev Soc Bras Med Trop*, 42(2), 137-140, 2009.

CARDOSO, S. L. C. *et al.* Gestão ambiental de parques urbanos: o caso do Parque Ecológico do município de Belém Gunnar Vingren. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 7, n. 1, p. 74-90, 2015.

CASTRO, A. S. *et al.* Avaliação da Evolução do Comportamento Quantitativo de Pavimentos Permeáveis no Controle do Escoamento Superficial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.18, n.1, p. 263-273, 2013.

CENTRAL PARK TOURS. *8 Things You Didn't Know About Central Park*. Disponível em: < http://www.centralparktoursnyc.com/interesting-facts-about-central-park/>. Acessado em: 3 de junho de 2017.

CIRIA. *CIRIA SuDS Manual*. Publication C753. 2015

CIRIA. *Infiltration drainage - Manual of good practice*. Roger Bettes Bsc PhD MCIWEM. CIRIA Report 156. 1996.

CORSINI, R. *Pavimento Permeável – Sistema revestido com peças intertravadas de concreto poroso promovem a infiltração de água*. 2014. Disponível em: http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoestecnicas/37/pavimento-permeavel-308773-1.aspx. Acessado em 15 de maio de 2017.

CURITBA. Lei nº 10.785, de 18 de setembro de 2003. *Cria no município de Curitiba, o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE*. Curitiba, 2003.

DAEE/CETESB. *Drenagem Urbana, Manual de Projeto*. Departamento de Águas e Energia Elétrica e Companhia de Tecnologia de Saneamento, São Paulo, 1980.

DERECZYNSKI, C. P.; OLIVEIRA, J. S.; MACHADO, C. O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 1, 24-38, 2009.

ECYCLE. *Captação de água de chuva: conheça as vantagens e cuidados necessários para o uso da cisterna*. Disponível em: <http://www.ecycle.com.br/component/content/article/43-drops-agua/3301-o-que-e-cisterna-tecnologia-projeto-sistema-solucao-alternativa-aproveitamento-reaproveitamento-reuso-captacao-coleta-agua-chuva-pluviais-reservatorio-armazenamento-deposito-caixa-de-agua-casa-condominio-consumo-humano-como-onde-encontrar-comprar.html>. Acessado em: 02 de junho de 2017.

EPA. *BMPs & Management Measures Structural & Nonstructural*. National Tribal Water Quality Conference. 2011.

EPA. *Guidelines for Water Reuse*. EPA/600/R-12/618: 2012.

EPE. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2024*. Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, 2015.

FEIBER, S. D. Áreas verdes urbanas imagem e uso – o caso do passeio público de Curitiba – PR. *Revista Ra'e Ga*, n. 8, p. 93-105, 2004.

FEITOSA, F. F. S. *Avaliação de uso de trincheiras de infiltração para atenuação de picos de cheia utilizando SWMM*. 101 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2015.

FELDMAN, F. *Entendo o Meio Ambiente – Volume 1*. Tratados e Organizações Internacionais em matéria de Meio Ambiente. São Paulo (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente SMA: 1997.

FERNANDES, C. *Microdrenagem. Um estudo inicial*. Campina Grande: DEC/CCT/UFPB, 2002. Disponível em: <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/HDren_01.html>. Acesso em: 09 de abril de 2017.

FLETCHER, T. D. *et al.* SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015.

FORGIARINI, F. R. *Incentivos econômicos à sustentabilidade da drenagem urbana: o caso de Porto Alegre – RS*. 244 f. 2010. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

GARCIA, E. N. A.; MORENO, D. A. A. C.; FERNANDES, A. L. V. A importância da preservação e conservação das águas superficiais e subterrâneas: um panorama sobre a escassez da água no Brasil. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 11, n. 06, p. 235-249, 2015.

GEOWATER. *Anexo 2: Ilustrações de Sistemas de Manejo Sustentável de Águas Pluviais. Plano Municipal de Saneamento de Macatuba*, 2009. Disponível em: https://camaramm.files.wordpress.com/2009/10/ilustracoes-desistemas-de-manejo-sustentavel-de-aguas-pluviais.pdf. Acessado em: 15 de maio de 2017.

GOMES, M. A. S. Parques Urbanos, Políticas Públicas e Sustentabilidade. *Mercator*, v. 13, n. 2, p. 79-90, 2014.

GRACIOSA, M. C. P. *et al.* Metodologia para o Dimensionamento de Trincheiras de Infiltração para o Controle do Escoamento Superficial na Origem. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.13, n.2, p. 207-214, 2008.

GRACIOSA, M. C. P. *Trincheiras de infiltração como tecnologia alternativa em drenagem urbana: modelagem experimental e numérica*. 232 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

GROUP RAINDROPS. *Aproveitamento da água da chuva*. Tradução de Masato Kobiyama *et al.*. Curitiba: Organic Trading, 2002. 196 p.

GUIA DO ESPORTE. *Parque da Cidade Salvador*. Disponível em: < http://www.guiadoesporte.com/item/parque-da-cidade/#.WZrRMT6GPcc>. Acesso em: 02 de junho de 2017.

IBGE. *Censo Brasileiro de 2010*. Disponível em: < http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acessado em: 2 de fevereiro de 2017.

IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008*. Rio de Janeiro: 2008. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000105.pdf>. Acessado em: 15 de março de 201.

JACOB, R. V. B.; OHNUMA JR, A. A.; SICILIANO, W. C.; REIS, W. Q. R.; OLIVEIRA, I. T. *Dias consecutivos secos para estimativa de volumes de aproveitamento de águas pluviais em períodos de estiagem na cidade do Rio de Janeiro*. In: 10º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2016, Belém. **Anais...** 2016, 6 p.

JONASSON, S. A. *Dimensioning methods for stormwater infiltration systems*. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 3., 1984, Göteborg. **Proceedings...** Göteborg: Chalmers University of Technology, 1984. v. 3, p. 1037-1046.

JOVELINO, J. R.; GUIMARÃES, B. S.; PORTO, K. F.; PESSOA, J. D., FRANÇA, K. B. *Estudo das metodologias de dimensionamento de reservatórios de água de chuva*. In: II Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro, 2015, Campina Grande. **Anais...** 2015, 6p.

LAVILLETE. *25 January 1993*. Disponível em: < https://lavillette.com/en/history/>. Acessado em: 02 de junho de 2017.

LINDOSO, T. C. M.; BUCHER, R. S. A. *Aplicação de técnicas compensatórias de drenagem no 1º Distrito de Teresópolis para minimização de inundações*. In: JORNADA DE PESQUISA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO UNIFESCO, 4, 2014, Teresópolis. **Anais...** Centro Universitário Serra dos Órgãos, 2014. 5 p.

MARENGO, J. A *et al. Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos*. In: BICUDO, C. E. M. *et al.* Águas do Brasil. Análises Estratégicas. ABC. Instituto de Botânica. 222pp. 2010.

MAY, S. *Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações*. 189 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MCIDADES. *Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB*. Ministério das Cidades: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: 2013.

MELO, T. A. T. *Avaliação hidrodinâmica de trincheira de infiltração no manejo das águas pluviais urbanas*. 136 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CTG, Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil, Recife, 2015.

MELO, T. A. T. *et al.* Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 53-72, 2016.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I.; SILVA, M. C. C.; RODRIGUES, L. B. Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. *REGA* – Vol. 4, no. 1, p. 29-37, jan/jun, 2007.

MIGUEZ, M. G.; MAGALHÃES, L. P. C. *"Urban Flood Control, Simulation and Management: an Integrated Approach"*. In: Pina Filho, A. C., Pina, A. C. (eds), Methods and Techniques in Urban Engineering, 1 ed., chapter 10, India, Intech, 2010.

MINAS GERAIS. Projeto de Lei – PL nº 1.621. *Cria o Programa de Captação da Água de Chuva*. Minas Gerais, 2015.

MMA. *Consumo Sustentável: Manual de Educação*. Brasília: Consumers International/MMA/MEC/IDEC, 2005.

NASCIMENTO DA SILVA, R.; GOMES, M. A. S. Parques Urbanos em Alagoas: Caracterização e Análise no Âmbito da Produção do Espaço. *Revista Percurso – NEMO*, v. 2, n. 1, p. 107-133, 2010.

NATIONAL INTELLIGENCE COUNCIL (NIC). *Global Trends 2030: Alternative Words*. 2012.

NUNES, D. M.; ALVAREZ, M. G. L.; OHNUMA JR., A. A.; PIMENTEL DA SILVA, L.; AMARAL. Aplicação de técnicas compensatórias no controle dos escoamentos superficiais: estudo de caso em loteamento residencial em Jacarepaguá, Rio de Janeiro. *Revista Internacional de Ciências*, Rio de Janeiro, v.07 n.01 p. 3 – 27, jan-jun, 2017.

NUNES, D. M.; PIMENTEL DA SILVA, L.; AMARAL, D. P. B.; FONSECA, P. L. *Análise dos parâmetros ajustados para o modelo hidrológico SWMM para bacias hidrográficas brasileiras*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21, 2015, Brasília, Distrito Federal. **Anais...**. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015, 8 p.

OHNUMA JR, A. A. *Medidas não convencionais de reservação d'água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares*. 306p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, EESC/USP, São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, A. P. *et al.* Aplicação de técnicas compensatórias de drenagem na requalificação de áreas verdes urbanas em Guarulhos – SP. *Cidades Verdes*, v. 4, n. 9, p. 87-101, 2016.

OLIVEIRA, P. T. S. B.; BITAR, O. Y. Indicadores ambientais para o monitoramento de Parques Urbanos. INTERFACEHS – *Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente*, v. 4, n. 2, p. 1-14, 2009.

PARQUE IBIRAPUERA. *Galeria de Fotos*. Disponível em: < http://www.parquedoibirapuera.com/sobre-o-parque/galeria-de-fotos/>. Acessado em: 02 de junho de 2017.

PELLIN, A.; CARVALHO, G.; REIS, J. C.; PELLIN, A. Gestão do uso público em Unidades de Conservação urbanas: o caso do Parque Estadual da Pedra Branca (RJ). *Revista Brasileira de Ecoturismo*, v. 7, n. 2, p. 344-373, 2014.

PGCo – Prince George's County. *Low-impact development design strategies: an integrated design approach*. Maryland: Department of Environmental Resources, Prince George's County, 1999.

PORTO ALEGRE. Decreto nº 15.371 de 17 de novembro de 2006. *Regulamenta o controle da drenagem urbana*. Porto Alegre, 2006.

PREFEITURA DE CURITIBA. *Parques e Bosques. Parque Barigui*. Disponível em: < http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/parques-e-bosques-parque-barigui/292>. Acessado em: 02 de junho de 2017.

PREFEITURA DE ITU. *Parque Chico Mendes tem reaproveitamento de água de chuva. 2016*. Disponível em: < https://www.itu.sp.gov.br/parque-chico-mendes-tem-reaproveitamento-de-agua-de-chuva/>. Acessado em: 10 de junho de 2017.

RIGHETTO, A. M. Manejo de águas pluviais. *Rio de Janeiro: ABES*, 2009.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 7.463, de 18 de outubro de 2016. *Regulamenta os procedimentos para armazenamento de águas pluviais e águas cinzas para reaproveitamento e retardo da descarga na rede pública e dá outras providências*. Rio de Janeiro, 2016.

RIO+20. *Sobre a Rio+20*. Disponível em: < http://www.rio20.gov.br/sobre_a_rio_mais_20.html>. Acessado em: 20 de junho de 2017.

RIO-ÁGUAS. *Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana*. Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas - Rio-Águas, 1ª versão, 2010.

ROCHA, H. Disponibilidade de água: impacto das mudanças de uso do solo e do aquecimento global. **Anais...** In: Ciclo de Conferências Biodiversidade e Recursos Hídricos: FAPESP: 2014.

ROSSMAN, L.A. *Storm Water Management Model – User's Manual Version 5.1*. Cincinnati, OH: U. S. Environmental Protection Agency, 2015, 352p.

SALVADOR. Lei nº 7.863, de 25 de maio de 2010. *Estabelece a obrigatoriedade da implantação de mecanismo de captação e armazenamento das águas pluviais nas coberturas das edificações, e a captação, reciclagem e armazenamento das águas servidas para posterior utilização em atividades que não exijam o uso de água tratada nos empreendimentos pluri-domiciliares e comerciais no Município do Salvador e dá outras providências*. Salvador, 2010.

SANTOS, L. J. C.; CASTRO, S. S. Lamelas (bandas onduladas) em argissolo vermelho-amarelo como indicadores da evolução do relevo: o caso das colinas médias do platô de Bauru (SP). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 7, n.1, p. 43-64, 2006.

SANTOS, L. P. S. *et al.* Análise da eficiência de calçadas ecológicas como sistema de drenagem sustentável nos centros urbanos: estudo de caso no Parque Flamboyant, Goiânia – Goiás. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Santa Maria, v. 19, n. 3, p. 837-849, 2015.

SÃO PAULO. Lei nº 12.526, de 02 de janeiro de 2007. *Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais*. São Paulo, 2007.

SCALISE, W. Parques Urbanos - evolução, projeto, funções e uso. *Revista Assentamentos Humanos*, Marília, v4, n. 1, p. 17-24, 2002.

SCOCUGLIA, J. B. C. *O Parc de La Tête d'Or: patrimônio, referência espacial e lugar de sociabilidade*. Arquitextos, São Paulo, 2009. Disponível em: < http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/10.113/20>. Acessado em: 05 de junho de 2017.

SIEVERS, C. K.; PINHEIRO, A. Trincheira de infiltração em série com reservatório de água de chuva. *REA – Revista de Estudos Ambientais*, v. 15, n. 1, p. 52-59, jan./jul, 2013.

SILVA, J. B.; PASQUALETTO, A. O caminho dos parques urbanos brasileiros: da origem ao século XXI. *Estudos*, v. 40, n. 3, p. 287-298, 2013.

SILVEIRA, A. L. L. *Pré-dimensionamento hidrológico de pavimentos permeáveis e trincheiras de infiltração*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15, 2003, Curitiba. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003, 11 p.

SILVEIRA, A. L. L.; GOLDENFUM, J. A. Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n. 2, p. 157-168, 2007.

SNATURAL. *Água de Chuva – Captação e Armazenamento*. Disponível em: <http://www.snatural.com.br/captacao-da-agua-de-chuva/>. Acessado em: 02 de junho de 2017.

SNIS. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2015*. Ministério das Cidades: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. 2017. Disponível em: < http://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2013/10/Diagnostico_AE2015.pdf>. Acessado em: 4 de março de 2017.

SORIANO, E.; LONDE, L. R.; DI GREGORIO, L. T., COUTINHO, M. P., SANTOS, L. B. L. Crise hídrica em São Paulo sob o ponto de vista dos desastres. *Ambiente & Sociedade*, v. 19, n. 1, p. 21-42, 2016.

SOUZA, R. L. *Análise comparativa dos métodos de dimensionamento para aproveitamento de águas pluviais: estudo de caso Hospital Federal do Andaraí/RJ*. 136p. Dissertação (Mestrado) –Escola Politécnica, Programa de Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

TAVANTI, D. R. *Desenvolvimento de Baixo Impacto Aplicado ao Processo de Planejamento Urbano*. 199 f. 2009. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2009.

TOMAZ, P. *Aproveitamento de Água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis*. 2. ed. São Paulo: Navegar Editora. 180p, 2003.

TOMAZ, P. *Previsão de Consumo de Água – Interface das Instalações Prediais de Água e Esgoto com os Serviços Públicos*. São Paulo, Navegar Editora. 250 p., 2000.

TOMINAGA, E. N. S. *Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte*. 2013. 137 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. São Paulo, 2013.

TUCCI, C. E. M. *Gestão das Águas Pluviais Urbanas: Saneamento para todos*. Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília, Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. Porto Alegre: *ABRH/Editora da Universidade/UFRGS*, p. 16-36. 1995.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO, F. O. *A gestão da água no Brasil: uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025*. Brasília, GWP, 2000. 165 p.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro. Rio de Janeiro: *Academia Brasileira de Ciências*, 2014.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008.

UNESCO. *Water for people Water for life*. The United Nations World Water Development Report. 2003.

UNICAMP. *Histórico dos movimentos ambientais no Brasil e no Mundo. Biblioteca Didática de Tecnologias Ambientais*. Disponível em: < http://www.fec.unicamp.br/~bdta/premissas/historico.htm>. Acessado em: 20 de junho de 2017.

URBONAS, B.; STAHRE, P. *Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.

US EPA. *Low Impact Development – A Literature Review*. EPA-841-B-00-005. Washington, DC: Office of Water, 2000.

USDoD – *United States Department of Defense*. Unified Facilities Criteria (UFC) Design: Low Impact Development Manual. USA: 2004.

VAN ROON, M. Water Localization and Reclamation: Steps Towards Low Impact Urban Design and Development. *Journal of Environmental Management*, v. 83, n. 4, p. 437-447, 2006.

VILLELA, S.M.; MATTOS, *A. Hidrologia aplicada*. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil Ltda., 1980.

VIRGILIIS, A. L. C. *Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias*. 2009. 191 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. São Paulo, 2009.

VISIT.RIO. *Parque Lage*. Disponível em: <http://visit.rio/que_fazer/parque-lage/>. Acessado em: 02 de junho de 2017.

VÖRÖSMARTY, C. J. *et al.* The storage and aging of continental runoff in large reservoir systems of the world. *Royal Swedish Academy of Sciences*. Ambio, v. 26, n. 4, p. 210-219, 1997.

WHO. *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*. Volume 1 – Policy and regulatory aspects. World Health Organization. 2006.

WILKEN, P. S. *Engenharia de Drenagem Superficial*. Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB. São Paulo, 1978.

WWAP. *The United Nations World Water Development Report 2014*: Water and Energy. Paris: UNESCO. 2014.

APÊNDICE A – Questionário sobre uso de água do Parque Ary Barroso

Ficha de Informações do Parque Ary Barroso e Entorno			
Endereço:			
Data:		Responsável pela informação:	
Dados de Infraestrutura			
Descrição	Quantidade	Observação	
Número de Funcionários			
Número de Banheiros de Funcionários			
Capacidade da Arena Dicró			
Número de Eventos por mês			
Número de Banheiros Públicos			
Número de Vasos Sanitários			
Área de Jardim (m²)			
Área de Pátio (m²)			
Dados de Consumo Não Potável			
Descrição	Quantidade	Observação	
Rega (L/mês ou L/dia)			
Limpeza de Pátio (L/mês ou L/dia)			
Sanitários (L/mês ou L/dia)			
Outros (especificar)			
Informações sobre Alagamentos			
Pergunta	Resposta		
O Parque costuma ficar encharcado em épocas de chuva?			
A região em que o Parque se encontra sofre com eventos de alagamentos? Com que Frequência?			
Qual a área que sofre mais com os efeitos dos alagamentos?			

APÊNDICE B – Planilhas utilizadas no dimensionamento do reservatório

Quadro 1 – Modelo da planilha elaborada para o dimensionamento pelo método de Rippl.

MESES	DEMANDA MENSAL (m^3)	DEMANDA ACUMULADA (m^3)	ÁREA DE COLETA (m^2)	RUNOFF	CHUVA MÉDIA MENSAL (mm)	VOLUME POSSÍVEL DE SER CAPTADO (m^3)	VOLUME ACUMULADO (m^3)	VOLUME DE CHUVA - DEMANDA (m^3)	VOLUME DO RESERVATÓRIO (m^3)
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10
Janeiro									
Fevereiro									
Março									
Abril									
Maio									
Junho									
Julho									
Agosto									
Setembro									
Outubro									
Novembro									
Dezembro									
								Total	

Fonte: O Autor, 2017.

Onde:

- Coluna 1 – Meses estudados;
- Coluna 2 – Demanda de água para fins não potáveis, conforme especificado posteriormente, da Arena Dicró, em m³;
- Coluna 3 – Valor da demanda acumulada ao longo dos meses, em m³;
- Coluna 4 – Área de coleta do telhado da Arena Dicró, em m²;
- Coluna 5 – Coeficiente de *Runoff* do telhado em questão, adimensional;
- Coluna 6 – Precipitação média acumulada no mês em estudo, em mm;
- Coluna 7 – Volume possível de ser captado que intercepta o telhado da Arena Dicró, em m³. A fórmula inserida nesta coluna foi:
    - Coluna 7 =(Coluna 6 / 1000) * Coluna 5 * Coluna 4
- Coluna 8 – Valor do volume acumulado ao longo dos meses, em m³;
- Coluna 9 – Diferença entre o volume possível de ser captado e a demanda, em m³. A função para esta coluna é:
    - Coluna 9 =SE(Coluna 7 – Coluna 2 < 0; 0; Coluna 7 – Coluna 2);
- Coluna 10 – Volume do reservatório necessário para cada mês estudado, em m³, sendo o total apresentado na última linha, após somatório de todos os valores. A função do excel inserida nesta coluna foi:
    - Coluna 10 =SE(Coluna 7 – Coluna 2 < 0; (Coluna 7 – Coluna 2) * -1; 0)

Quadro 2 – Modelo da planilha elaborada para o dimensionamento pelo método prático australiano.

					Volume =	**x**	**m³**	
Meses	**P**	**A**	**I**	**Q(t)**	**D(t)**	**V(t-1)**	**V(t)**	
	mm	**m²**	**mm**	**m³**	**m³**	**m³**	**m³**	**Mês Atendido?**
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9
Janeiro								
Fevereiro								
Março								
Abril								
Maio								
Junho								
Julho								
Agosto								
Setembro								
Outubro								
Novembro								
Dezembro								
							Nr	
							Pr	
							Confiança	

Fonte: O Autor, 2017.

Onde:

- O valor indicado como “x”, localizado na Coluna 7, é o volume do reservatório utilizado, alterado tantas vezes necessárias para atingir um valor ótimo de acordo com a confiança do sistema adotada;
- Coluna 1 – Meses estudados;
- Coluna 2 – Precipitação média acumulada no mês em estudo, em mm;
- Coluna 3 – Área de coleta do telhado da Arena Dicró, em m²;
- Coluna 4 – Perda da chuva por interceptação, conforme indicado na descrição desta metodologia, em mm;
- Coluna 5 – Volume possível de ser captado que intercepta o telhado da Arena Dicró no mês em questão, em m³. A fórmula inserida nesta coluna, considerando um *Runoff* de 0,8 foi:
    - Coluna 5 =(Coluna 2 – Coluna 4 / 1000) * 0.8 * Coluna 3
- Coluna 6 – Demanda de água para fins não potáveis para o mês em questão, conforme especificado posteriormente, da Arena Dicró, em m³;
- Coluna 7 – Volume do reservatório no início do mês, em m³. Para o primeiro mês foi adotado que o reservatório estaria vazio, ou seja, V = 0. O valor desta coluna, a partir do segundo mês, é igual ao valor do final do mês anterior;
- Coluna 8 – Valor do volume do reservatório no final do mês, em m³. A função para esta coluna é:
    - Coluna 8 =SE(Coluna 7 + Coluna 5 > Coluna 6; SE(Coluna 7 + Coluna 5 - Coluna 6 > x; x; Coluna 7 + Coluna 5 – Coluna 6); SE(Coluna 7 + (Coluna 5 - Coluna 6) < 0; 0; Coluna 7 + (Coluna 5 - Coluna 6)))
- Coluna 9 – Verificação se o volume do reservatório adotado é suficiente para atender a demanda do relativo mês. A verificação realizada nesta coluna foi:
    - Coluna 9 =SE(Coluna 8 = 0; “Não”; “Sim”)
- Nr – Número de meses em que o reservatório não atendeu a demanda. A verificação foi realizada contando os valores de “Não” na Coluna 9, por meio da função: =CONT.SE(Coluna 9;"Não");
- Pr – Falha. Obtida pela fórmula: =SE(Nr / 12 = 0; 0.01; Nr / 12);
- Confiança – Apresentado em forma de porcentagem (%), é obtida por meio de: Confiança = 1 - Pr.

Quadro 3 – Modelo da planilha elaborada para a verificação de atendimento da demanda da Arena Dicró para o reservatório existente.

MESES	DEMANDA MENSAL (m^3)	DEMANDA ACUMULADA (m^3)	ÁREA DE COLETA (m^2)	RUNOFF	CHUVA MÉDIA MENSAL (mm)	VOLUME POSSÍVEL DE SER CAPTADO (m^3)	VOLUME DO RESERVATÓRIO (m^3)	VOLUME DO RESERVATÓRIO T-1 (m^3)	VOLUME DO RESERVATÓRIO T (m^3)	EXCEDENTE	DÉFICIT
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9	Coluna 10	Coluna 11	Coluna 12
Janeiro											
Fevereiro											
Março											
Abril											
Maio											
Junho											
Julho											
Agosto											
Setembro											
Outubro											
Novembro											
Dezembro											
Total											

Fonte: O Autor, 2017.

Onde:

- Coluna 1 – Meses estudados;
- Coluna 2 – Demanda de água para fins não potáveis para o mês em questão, conforme especificado posteriormente, da Arena Dicró, em m³;
- Coluna 3 – Demanda acumulada ao longo dos meses, em m³;
- Coluna 4 – Área de captação das águas pluviais, em m²;
- Coluna 5 – Coeficiente escoamento superficial, adimensional;
- Coluna 6 – Precipitação média acumulada no mês em estudo, em mm;
- Coluna 7 – Volume possível de ser captado que intercepta o telhado da Arena Dicró no mês em questão, em m³. A fórmula inserida nesta coluna, considerando um Runoff de 0,8 foi:
    - Coluna 7 = (Coluna 6 / 1000) * 0.8 * Coluna 4;
- Coluna 8 – Volume fixado do reservatório existente, em m³;
- Coluna 9 – Volume do reservatório no início do mês, em m³. Para o primeiro mês foi adotado que o reservatório estaria vazio, ou seja, V = 0. O valor desta coluna, a partir do segundo mês, é igual ao valor do final do mês anterior;
- Coluna 10 - Valor do volume do reservatório no final do mês, em m³. A função para esta coluna é:
    - Coluna 10 =SE(Coluna 7 – Coluna 2 + Coluna 9 > Coluna 8; Coluna 8; SE(Coluna 7 – Coluna 2 + Coluna 9 > 0; Coluna 7 – Coluna 2 + Coluna 9 ; 0));
- Coluna 11 – Excedente do volume possível de ser captado em relação ao reservatório existente e a demanda, em m³. A função inserida nesta coluna foi:
    - Coluna 11 = SE(Coluna 7 – Coluna 10 – Coluna 2 > 0; Coluna 7 – Coluna 10 – Coluna 2; 0);
- Coluna 12 – Volume necessário para atender ao preenchimento do reservatório e à demanda, em m³. A fórmula inserida nas células da coluna 12 foi:
    - Coluna 12 = SE(Coluna 7 – Coluna 10 – Coluna 2 < 0; Coluna 7 – Coluna 10 – Coluna 2; 0);
- A última linha das Colunas 2, 7, 11 e 12 apresentam os respectivos somatórios.

APÊNDICE C – Artigo Científico publicado pela Revista Internacional de Ciências (RIC)