

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA A
REDUÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA DE
ABASTECIMENTO COMO MEIO DE
DIMINUIÇÃO DA PRESSÃO SOBRE OS
RECURSOS HÍDRICOS

Erick Brizon D'Angelo Chaib

Belo Horizonte

2016

**AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA A REDUÇÃO
DO CONSUMO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO
COMO MEIO DE DIMINUIÇÃO DA PRESSÃO SOBRE
OS RECURSOS HÍDRICOS**

Erick Brizon D'Angelo Chaib

Erick Brizon D'Angelo Chaib

**AVALIAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA A REDUÇÃO
DO CONSUMO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO
COMO MEIO DE DIMINUIÇÃO DA PRESSÃO SOBRE
OS RECURSOS HÍDRICOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito à obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Políticas Públicas e Gestão em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Nilo de Oliveira Nascimento

Coorientadora: Prof^a. Dra. Diomira Maria Cicci Pinto Faria

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2016

C434a

Chaib, Erick Brizon D'Angelo.

Avaliação de estratégias para a redução do consumo de água de abastecimento como meio de diminuição da pressão sobre os recursos hídricos [manuscrito] / Erick Brizon D'Angelo Chaib. - 2016.

xvi, 233 f., enc : il.

Orientador: Nilo de Oliveira Nascimento.

Coorientadora: Diomira Maria Cicci Pinto Faria.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Anexos: f. 209-233.

Bibliografia: f. 198-208.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Teses. 3. Água - Consumo - Teses. 4. Água potável - Teses. 5. Água - Reutilização - Teses. I. Nascimento, Nilo de Oliveira. II. Faria, Diomira Maria Cicci Pinto. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.

CDU: 628(043)



FOLHA DE APROVAÇÃO

Avaliação de estratégias para a redução do consumo de água de abastecimento como meio de diminuição da pressão sobre os recursos hídricos.

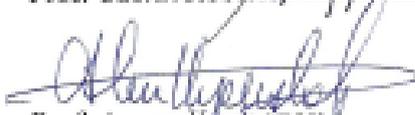
ERICK BRIZON D'ANGELO CHAIB

Tese defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:


Prof. NILO DE OLIVEIRA NASCIMENTO - Orientador


Prof. DIOMIRA MARIA CICCII PINTO FARIA - Coorientadora


Prof. CESAR ROSSAS MOTA FILHO


Prof. ASHER KIPERSTOK


Prof. DANIEL CAIXETA ANDRADE

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Versão Final aprovada por


Prof. Nilo de Oliveira Nascimento
Coordenador


Prof. Nilo de Oliveira Nascimento
Orientador

Belo Horizonte, 07 de novembro de 2016.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pelo favor imerecido, por minha família e porque Ele “nos tem abençoado com todas as bênçãos espirituais em Cristo Jesus” (Efésios 1:3);

À Universidade Federal de Minas Gerais, pela oportunidade de realizar o doutorado;

Ao professor e orientador Nilo de Oliveira Nascimento, pelo interesse no projeto de pesquisa, pela confiança, disponibilidade, seriedade, competência e dedicação em todos os momentos acadêmicos na UFMG;

À professora e coorientadora Diomira Maria Cicci Pinto Faria, também pela competência e dedicação em orientar-me, sobretudo nos aspectos econômicos e financeiros da pesquisa;

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), pelo apoio e liberação em tempo integral das atividades docentes para o desenvolvimento do doutorado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão do auxílio-bolsa no âmbito do programa CAPES-Reuni;

Aos membros da banca examinadora da tese – professores Asher Kiperstok, Daniel Caixeta Andrade e Cesar Rossas Mota Filho – e aos membros da banca de qualificação – professores Marcelo Libânio, Eneide Ghisi e Bernard de Gouvello –, pela atenção, leitura cuidadosa do trabalho e sugestões apresentadas;

Aos docentes, técnicos-administrativos, colegas e amigos do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (PPGSMARH) da UFMG (não vou citar nomes para não cometer injustiças), pelos momentos de convívio, aprendizado e colaboração;

À Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, em especial à Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL), pelo fornecimento dos dados cadastrais das edificações residenciais existentes em Belo Horizonte;

À Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), pelo fornecimento dos dados de consumo residencial de água em Belo Horizonte;

Finalmente, a todos que, de algum modo, colaboraram para que esse objetivo fosse alcançado.

DEDICATÓRIA

À minha esposa Juliana e às minhas filhas Giovana e Milena, pelo amor, pelas muitas e muitas e muitas horas de convívio que abriram mão para que eu pudesse estar em Belo Horizonte e desenvolver os trabalhos do doutorado.....amo vocês!

Aos meus pais – Josué e Luiza –, pelas oportunidades de estudo que proporcionaram e à minha família, pelas orações, pela presença, torcida e incentivo.

RESUMO

Em um cenário de relativa escassez hídrica, torna-se recomendável a elaboração e implantação de políticas públicas relacionadas à gestão de demanda e oferta de água visando à manutenção de níveis adequados de abastecimento de água potável. Considerando que o uso residencial de água representa parcela relevante do volume total de abastecimento urbano, é importante a adoção de medidas que reduzam o consumo domiciliar de água. Neste contexto, desenvolveu-se a presente pesquisa, objetivando a avaliação de dispositivos que possibilitem economia de água potável – aproveitamento de água de chuva, uso de aparelhos hidráulicos economizadores e medição individualizada de água em edifícios – no âmbito domiciliar em escala municipal de grandes áreas urbanas. Para tanto, o cadastro de edificações residenciais unifamiliares (casas) e multifamiliares (edifícios de apartamentos) existentes no município foi organizado por meio de suas características, como área de cobertura, padrão construtivo e altura, utilizando-se, como estudo de caso, o município de Belo Horizonte. A variabilidade das edificações residenciais existentes foi reduzida e compatibilizada por meio da correlação com cinco projetos-padrão residenciais unifamiliares e dez multifamiliares. Com base nos projetos-padrão, foram realizadas simulações hidráulicas e financeiras referentes à implantação dos dispositivos economizadores, sendo que, para o aproveitamento de água de chuva, utilizou-se série histórica de 25 anos de precipitações pluviométricas diárias. Os resultados obtidos foram extrapolados em escala municipal e indicaram, na hipótese de uso generalizado dos dispositivos em todas as edificações residenciais do município, um potencial de economia, em relação ao consumo anual total domiciliar de água potável, na ordem de 19,5% para aproveitamento de água de chuva, 24,7% para aparelhos economizadores e 15,7% para medição individualizada de água em edifícios. Para os sistemas de aproveitamento de água de chuva, as análises financeiras, sob a ótica do investidor privado, indicaram inviabilidade para casas e edifícios de padrão baixo, enquanto que, para as edificações de padrão normal e alto, apresentaram elevados períodos de retorno de investimento (*payback*). Para os demais dispositivos, as análises financeiras indicaram viabilidade para as casas e edifícios analisados, com menores *payback*, devido aos custos envolvidos serem mais baixos. Tais resultados indicam a necessidade de concepção e avaliação de modelos regulatórios, de financiamento e incentivo à disseminação, em larga escala, dos sistemas economizadores de água potável no âmbito doméstico, de modo a proporcionar redução do consumo de água potável e, conseqüentemente, alívio das pressões exercidas sobre os recursos hídricos.

Palavras-chave: Uso racional da água; economia de água potável; aparelhos hidráulicos economizadores, aproveitamento de água de chuva; medição individualizada de água.

ABSTRACT

In a scenario of relative water scarcity, it is advisable to implement public policies aimed at maintaining adequate potable water supply. Since residential water use represents a significant portion of the total volume of drinking water consumed in urban areas, thus adoptions of measures to reduce household water consumption are important. In this context, the present research focuses the evaluation of some technological saving devices (such as rainwater harvesting, use of economical hydraulic equipments and individual metering of water consumption in multifamily buildings) that may provide reduction of potable water consumption within the household in the territorial scale of large urban areas. Therefore, existing single-family dwellings and multifamily buildings in the city was organized based on the distributions of their characteristics such as roof areas, construction standards and heights. The city of Belo Horizonte city, Minas Gerais state's capital, was used as a case study. The variability of existing dwellings and buildings were reduced by the correlations with residential standard-designs (5 single-family and 10 multifamily buildings), standardizing their constructive characteristics. After, based on the standard-designs, hydraulic and financial simulations to evaluate the performance of the water saving devices (in the case of rainwater harvesting systems were done through simulation using a 25-year daily rainfall time series) were done. The results were extrapolated to municipal level, considering the hypothesis of widespread use in the city, indicated the potential of potable water saving in relation to the annual household consumption of potable water in the order of 19.5% for rainwater harvesting, 24,7% for water saving devices and 15.7% for individualized water metering systems in buildings. For rainwater harvesting systems, financial results, from the perspective of a private investor, results indicated infeasibility for low constructive standard dwellings and buildings, while for normal and high standard, it has shown the systems feasibility, although with high payback periods. As for the other equipment, due to the fact that they have lower implementation, operation and maintenance costs, financial results showed shorter payback periods when compared to rainwater harvesting systems. These results suggest that the dissemination of these systems may require the proposal of conception and evaluation concerning the regulatory and funding models, and other economic tools as well to promote them for large-scale use, to reduce the pressure on water resources.

Key-words: water conservation; saving water; saving water devices; rainwater harvesting; water individual metering

SUMÁRIO

| | |
|--|-------------|
| LISTA DE FIGURAS..... | VIII |
| LISTA DE TABELAS | X |
| LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS..... | XIV |
| 1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS | 1 |
| 2 OBJETIVOS, HIPÓTESES E QUESTÕES A SEREM RESPONDIDAS..... | 7 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 7 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 7 |
| 2.3 HIPÓTESES BÁSICAS E QUESTÕES A SEREM RESPONDIDAS | 7 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA..... | 9 |
| 3.1 O USO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA..... | 9 |
| 3.2 O CONSUMO DE ÁGUA | 11 |
| 3.3 DISPOSITIVOS DE REDUÇÃO DE CONSUMO RESIDENCIAL DE ÁGUA | 18 |
| 3.3.1 <i>Aproveitamento de água de chuvas</i> | 19 |
| 3.3.1.1 Aspectos legais referentes ao aproveitamento de água de chuva..... | 25 |
| 3.3.1.2 Métodos de dimensionamento | 28 |
| 3.3.2 <i>Aparelhos hidráulico-sanitários economizadores</i> | 30 |
| 3.3.3 <i>Medição individualizada</i> | 33 |
| 3.4 ASPECTOS ECONÔMICOS E DE AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS..... | 36 |
| 3.4.1 <i>Aspectos relacionados às teorias econômicas convencional e ecológica</i> | 36 |
| 3.4.2 <i>Diferença conceitual entre análises econômicas e análises financeiras</i> | 40 |
| 3.4.3 <i>Outros conceitos importantes</i> | 42 |
| 3.4.4 <i>Aspectos relacionados à avaliação de políticas públicas</i> | 43 |
| 3.5 ASPECTOS GERAIS QUANTO À RELEVÂNCIA DO TEMA PROPOSTO | 45 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 46 |
| 4.1 DIRETRIZES METODOLÓGICAS..... | 47 |
| 4.2 FORMATAÇÃO DA BASE DE DADOS..... | 51 |
| 4.2.1 <i>Classes socioeconômicas</i> | 52 |
| 4.2.2 <i>Consumo residencial de água</i> | 53 |
| 4.2.3 <i>Projetos-padrão</i> | 56 |
| 4.2.4 <i>Distribuição de edificações residenciais em Belo Horizonte</i> | 57 |
| 4.2.5 <i>Tarifação de água</i> | 60 |
| 4.2.6 <i>Reajustes tarifários e inflacionários</i> | 62 |
| 4.3 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS | 62 |
| 4.3.1 <i>Aspectos técnicos gerais</i> | 64 |
| 4.3.2 <i>Parâmetros financeiros</i> | 67 |
| 4.3.2.1 <i>Custo de implantação</i> | 67 |
| 4.3.2.2 <i>Custos operacionais e de manutenção</i> | 68 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.3.3 | <i>Aspectos hidrológicos</i> | 68 |
| 4.3.4 | <i>Estimativas de demanda residencial de água não potável</i> | 69 |
| 4.3.4.1 | Descarga de vasos sanitários | 69 |
| 4.3.4.2 | Irrigação de áreas verdes (jardins)..... | 70 |
| 4.3.4.3 | Limpeza de áreas internas e externas..... | 70 |
| 4.3.4.4 | Demandas de água não potável consideradas na pesquisa..... | 71 |
| 4.3.5 | <i>Dimensionamento do reservatório inferior</i> | 72 |
| 4.3.5.1 | Determinação de volume ótimo por meio de critérios hidráulicos | 73 |
| 4.3.5.2 | Determinação de volume ótimo por meio de critérios econômicos | 74 |
| 4.3.6 | <i>Análises hidráulicas</i> | 76 |
| 4.4 | APARELHOS HIDRÁULICOS ECONOMIZADORES..... | 76 |
| 4.5 | MEDIÇÃO INDIVIDUALIZADA EM EDIFÍCIOS..... | 78 |
| 4.6 | ANÁLISES DE VIABILIDADE FINANCEIRA | 81 |
| 4.7 | INCENTIVOS DE BASE FINANCEIRA AO EMPREGO DE ALTERNATIVAS PARA A REDUÇÃO DO CONSUMO DOMICILIAR DE ÁGUA E ANÁLISES DE SENSIBILIDADE..... | 84 |
| 4.7.1 | <i>Variação do valor cobrado pelo uso da água</i> | 85 |
| 4.7.2 | <i>Variação do custo de implantação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva por meio de subsídios a fundo perdido</i> | 87 |
| 5 | CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO | 89 |
| 6 | RESULTADOS | 94 |
| 6.1 | CONSUMO RESIDENCIAL DE ÁGUA | 95 |
| 6.1.1 | <i>Análises do consumo residencial de água em Belo Horizonte</i> | 95 |
| 6.1.2 | <i>Relação entre o consumo residencial per capita de água e a renda per capita</i> | 100 |
| 6.2 | DISTRIBUIÇÃO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EM BELO HORIZONTE..... | 105 |
| 6.2.1 | <i>Edificações residenciais unifamiliares existentes em Belo Horizonte</i> | 105 |
| 6.2.2 | <i>Edificações residenciais multifamiliares existentes em Belo Horizonte</i> | 110 |
| 6.2.3 | <i>Distribuição das edificações residenciais conforme classes socioeconômicas</i> | 115 |
| 6.2.4 | <i>Análise de erros relativos quanto à distribuição populacional nos domicílios</i> | 115 |
| 6.3 | ASPECTOS HIDROLÓGICOS | 117 |
| 6.4 | ESTIMATIVAS DE DEMANDA RESIDENCIAL DE ÁGUA | 119 |
| 6.5 | ASPECTOS FINANCEIROS REFERENTES AOS DISPOSITIVOS HIDRÁULICOS | 122 |
| 6.5.1 | <i>Aspectos financeiros referentes aos sistemas de aproveitamento de água de chuva</i> | 122 |
| 6.5.2 | <i>Aspectos financeiros referentes aos aparelhos economizadores de água</i> | 124 |
| 6.5.3 | <i>Aspectos financeiros referentes à medição individualizada de água</i> | 126 |
| 6.6 | SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA | 128 |
| 6.6.1 | <i>Aproveitamento de água de chuva em edificações unifamiliares</i> | 129 |
| 6.6.2 | <i>Aproveitamento de água de chuva em edificações multifamiliares</i> | 141 |
| 6.6.3 | <i>Comparações com resultados obtidos em outras pesquisas</i> | 150 |
| 6.7 | APARELHOS HIDRÁULICOS ECONOMIZADORES..... | 151 |
| 6.8 | MEDIÇÃO INDIVIDUALIZADA EM EDIFÍCIOS DE APARTAMENTOS | 154 |
| 6.9 | USO DOS DISPOSITIVOS ECONOMIZADORES EM ESCALA MUNICIPAL | 161 |
| 6.10 | RESULTADOS FINANCEIROS..... | 163 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.10.1 | <i>Análise de sensibilidade dos modelos adotados</i> | 169 |
| 6.10.1.1 | Testes de sensibilidade para os sistemas de aproveitamento de água de chuva referentes a alterações no valor pago pelo uso de recursos hídricos | 169 |
| 6.10.1.2 | Testes de sensibilidade para alterações no custo de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva, por meio de concessão de subsídios a fundo perdido | 170 |
| 7 | DISCUSSÕES ACERCA DOS RESULTADOS OBTIDOS | 174 |
| 7.1 | CONSUMO RESIDENCIAL DE ÁGUA | 174 |
| 7.2 | DISTRIBUIÇÃO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EM BELO HORIZONTE | 175 |
| 7.3 | SIMULAÇÕES HIDRÁULICAS DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA | 178 |
| 7.3.1 | <i>Variação do regime de chuvas: simulações comparativas entre as precipitações registradas para Porto Alegre e para Belo Horizonte</i> | 178 |
| 7.3.2 | <i>Variação entre as simulações para série histórica, ano mais chuvoso e ano mais seco</i> | 182 |
| 7.3.3 | <i>Variação das áreas de captação</i> | 184 |
| 7.4 | USO GENERALIZADO DOS DISPOSITIVOS ECONOMIZADORES DE ÁGUA POTÁVEL EM ESCALA MUNICIPAL | 186 |
| 7.5 | DISCUSSÕES REFERENTES ÀS ANÁLISES FINANCEIRAS..... | 188 |
| 7.6 | IMPACTO NO SISTEMA PÚBLICO DE DRENAGEM | 191 |
| 8 | CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 192 |
| | REFERÊNCIAS | 198 |
| | ANEXOS | 209 |
| | ANEXO 1 – PROJETOS-PADRÃO ESTABELECIDOS NA NBR 12.721:2006..... | 209 |
| | ANEXO 2 – RESOLUÇÃO ARSAE-MG Nº 49, DE 11 DE ABRIL DE 2014 | 211 |
| | ANEXO 3 – TIPOS DE RESERVATÓRIOS E ACESSÓRIOS UTILIZADOS EM SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA..... | 212 |
| | ANEXO 4 – TIPOS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DE EQUIPAMENTOS HIDRÁULICOS ECONOMIZADORES | 214 |
| | ANEXO 5 – FOTOS ILUSTRATIVAS DE DIFERENTES TIPOS DE INSTALAÇÕES DE MEDIÇÃO INDIVIDUALIZADA.... | 217 |
| | APÊNDICES | 219 |
| | APÊNDICE 1 – CUSTOS DOS DIFERENTES TIPOS DE RESERVATÓRIO INFERIOR..... | 219 |
| | APÊNDICE 2 – CRITÉRIO HIDRÁULICO PARA DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO | 221 |
| | APÊNDICE 3 – PLANILHA-MODELO DE ANÁLISES FINANCEIRAS | 224 |
| | APÊNDICE 4 – R1-B – VARIÁVEIS HIDRÁULICAS E DE CUSTO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA... | 225 |
| | APÊNDICE 5 – R1-A – VARIÁVEIS HIDRÁULICAS E DE CUSTO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA... | 226 |
| | APÊNDICE 6 – PIS – VARIÁVEIS HIDRÁULICAS E DE CUSTO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA..... | 227 |
| | APÊNDICE 7 – PP-N – VARIÁVEIS HIDRÁULICAS E DE CUSTO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA... | 228 |
| | APÊNDICE 8 – R8-B – VARIÁVEIS HIDRÁULICAS E DE CUSTO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA... | 229 |
| | APÊNDICE 9 – R8-A – VARIÁVEIS HIDRÁULICAS E DE CUSTO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA... | 230 |
| | APÊNDICE 10 – R8-X – VARIÁVEIS HIDRÁULICAS E DE CUSTO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA. | 231 |
| | APÊNDICE 11 – R8-Y – VARIÁVEIS HIDRÁULICAS E DE CUSTO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA. | 232 |
| | APÊNDICE 12 – R16-N – VARIÁVEIS HIDRÁULICAS E DE CUSTO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA | 233 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 3.1 – Ações de gerenciamento da água..... | 9 |
| Figura 3.2 – Consumo médio <i>per capita</i> total de água no Brasil..... | 12 |
| Figura 3.3 – Consumo total de água predial..... | 14 |
| Figura 3.4 – Potencial de economia de água por meio por meio do uso de equipamentos economizadores | 31 |
| Figura 3.5 – A “macrovisão” da macroeconomia na perspectiva da economia ecológica..... | 39 |
| Figura 3.6 – Classificação de projetos..... | 41 |
| Figura 4.1 – Fluxograma metodológico geral da pesquisa..... | 49 |
| Figura 4.2 – Discretizações espaciais para o município de Belo Horizonte consideradas na pesquisa | 54 |
| Figura 4.3 – Fluxograma do tratamento de dados da PME e de consumo residencial..... | 55 |
| Figura 4.4 – Enquadramento de edificações multifamiliares e projetos-padrão | 60 |
| Figura 4.5 – Fluxograma metodológico referente ao aproveitamento de água de chuva..... | 63 |
| Figura 4.6 – Esquema típico de sistema de aproveitamento de água de chuva..... | 64 |
| Figura 4.7 – Aspecto ilustrativo das curvas para determinação do volume ótimo do reservatório utilizando critério econômico | 75 |
| Figura 4.8 – Fluxograma metodológico referente ao uso de aparelhos hidráulicos economizadores | 77 |
| Figura 4.9 – Elementos do sistema de medição individualizada..... | 79 |
| Figura 4.10 – Fluxograma metodológico referente à medição individualizada em edifícios .. | 80 |
| Figura 4.11 – Esquema para análises de sensibilidade financeira decorrente de variações no valor pago pelo uso de recursos hídricos..... | 87 |
| Figura 4.12 – Esquema para análises de sensibilidade financeira decorrente de variação no custo de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva por meio de subsídios..... | 88 |
| Figura 5.1 – Localização e regiões administrativas de Belo Horizonte | 90 |
| Figura 5.2 – Regiões administrativas e setores censitários no município de Belo Horizonte .. | 90 |
| Figura 6.1 – Regiões administrativas (PMBH) e distritos operacionais (COPASA) em Belo Horizonte | 95 |
| Figura 6.2 – Evolução do consumo residencial de água em Belo Horizonte, entre agosto / 2003 e outubro / 2012 (registros reais)..... | 97 |

| | |
|--|-----|
| Figura 6.3 – Evolução do consumo residencial em Belo Horizonte, entre agosto / 2003 e outubro / 2012 (médias móveis / ciclo de 5 meses)..... | 98 |
| Figura 6.4 – Função consumo residencial de água <i>versus</i> renda familiar – curva única | 101 |
| Figura 6.5 – Elasticidade da função consumo residencial de água em relação à renda familiar | 102 |
| Figura 6.6 – Função consumo residencial de água <i>versus</i> renda familiar – duas curvas | 102 |
| Figura 6.7 – Frequências relativas e acumuladas de edificações unifamiliares em Belo Horizonte em 2013 | 106 |
| Figura 6.8 - Frequências relativas e acumuladas de edificações multifamiliares em Belo Horizonte em 2013 | 112 |
| Figura 6.9 – Precipitações anuais e mensais em Belo Horizonte – Estação Caixa de Areia. | 118 |
| Figura 6.10 – Custos de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva | 123 |
| Figura 6.11 – RP1-Q – Variáveis hidráulicas e de custo total do sistema de aproveitamento de água de chuva | 130 |
| Figura 6.12 – R1-N – Variáveis hidráulicas e de custo total do sistema de aproveitamento de água de chuva | 131 |
| Figura 6.13 - R1-X – Variáveis hidráulicas e de custo total do sistema de aproveitamento de água de chuva | 132 |
| Figura 6.14 – PP-B – Variáveis hidráulicas e de custo total do sistema de aproveitamento de água de chuva | 142 |
| Figura 6.15 – R8-N – Variáveis hidráulicas e de custo total do sistema de aproveitamento de água de chuva | 143 |
| Figura 6.16 – R16-A – Variáveis hidráulicas e de custo total do sistema de aproveitamento de água de chuva | 144 |
| Figura 6.17 – Frequências do consumo de água em edifícios com medição individualizada e sem medição individualizada..... | 156 |
| Figura 6.18 – Curva do valor presente líquido (VPL) para o projeto-padrão R1-X | 165 |
| Figura 7.1 – Precipitações – média mensal e total anual – Belo Horizonte e Porto Alegre.. | 179 |
| Figura 7.2 – R1-N – Variáveis hidráulicas de aproveitamento de água de chuva para Belo Horizonte, para série histórica, ano mais seco (1990) e ano mais chuvoso (2009)..... | 183 |
| Figura 7.3 – Projetos-Padrão R1-N, R8-A e PP-N – Simulação variando a área de cobertura | 185 |
| Figura 7.4 – Esquema ilustrativo dos hidrogramas comparativos considerando os cenários de existência ou inexistência de sistemas de aproveitamento de água de chuva | 191 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 3.1 – Exigências mínimas para uso de água não potável, conforme atividade..... | 11 |
| Tabela 3.2 – Comparativo de índices de consumo <i>per capita</i> residencial de água | 17 |
| Tabela 3.3 – Percentuais de consumo para diferentes pontos internos residenciais (%)...... | 18 |
| Tabela 3.4 – Quadro de leis e decretos nacionais – federais e municipais..... | 26 |
| Tabela 3.5 – Distribuição do consumo domiciliar de água por pontos de consumo | 32 |
| Tabela 3.6 – Parâmetros de redução do consumo de água para aparelhos economizadores ... | 32 |
| Tabela 3.7 – Consumo de condomínios residenciais em Goiânia, GO | 35 |
| Tabela 4.1 – Nomenclatura dos projetos-padrão de edificações residenciais | 57 |
| Tabela 4.2 – Tipos de reservatórios de aproveitamento de água de chuva..... | 65 |
| Tabela 4.3 – Coeficientes de escoamento (<i>runoff</i>) usuais | 66 |
| Tabela 4.4 – Insumos considerados na construção dos diferentes tipos de reservatório | 67 |
| Tabela 4.5 – Dados de entrada do programa Netuno..... | 74 |
| Tabela 4.6 – Distribuição percentual de uso domiciliar de água por aparelho (%)...... | 77 |
| Tabela 4.7 – Percentuais de redução do consumo de aparelhos economizadores | 78 |
| Tabela 4.8 – Exemplos de taxas de desconto utilizados por países desenvolvidos..... | 83 |
| Tabela 5.1 – Regiões administrativas, setores censitários, população e número de domicílios em Belo Horizonte..... | 91 |
| Tabela 5.2 – Indicadores de saneamento básico e de desenvolvimento em capitais brasileiras | 91 |
| Tabela 5.3 – Classes socioeconômicas e distribuição populacional em Belo Horizonte | 92 |
| Tabela 5.4 – Distribuição da população, por classe socioeconômica, para cada distrito operacional para Belo Horizonte | 92 |
| Tabela 5.5 – Sistemas de produção e captação de água para a Região Metropolitana de Belo Horizonte | 93 |
| Tabela 6.1 – Distritos operacionais da COPASA em Belo Horizonte: população, renda e dados de consumo de água | 96 |
| Tabela 6.2 – Consumo <i>per capita</i> residencial de água em função das classes socioeconômicas para o município de Belo Horizonte | 104 |
| Tabela 6.3 – Frequência de edificações residenciais unifamiliares em Belo Horizonte em 2013 | 107 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 6.4 – Estatísticas descritivas aplicadas às áreas das edificações unifamiliares | 108 |
| Tabela 6.5 – Número de casas existentes, segundo os projetos-padrão de residências unifamiliares em Belo Horizonte em 2013..... | 109 |
| Tabela 6.6 – Frequência de edificações residenciais multifamiliares em Belo Horizonte em 2013 | 111 |
| Tabela 6.7 – Estatísticas descritivas aplicadas à base de dados de edifícios multifamiliares | 112 |
| Tabela 6.8 – Critérios de enquadramento dos edifícios com os projetos-padrão | 113 |
| Tabela 6.9 – Número de edifícios existentes, segundo os projetos-padrão de residências multifamiliares (edifícios) em Belo Horizonte em 2013 | 114 |
| Tabela 6.10 – Número de edificações existentes e enquadramento com projetos-padrão por classes socioeconômicas e padrão construtivo em 2013 | 116 |
| Tabela 6.11 – Registros pluviométricos da série histórica de precipitações registradas na Estação Caixa de Areia..... | 117 |
| Tabela 6.12 – Consumo de água potável e não potável conforme classificação social..... | 119 |
| Tabela 6.13 – Demandas médias de água não potável em edificações unifamiliares | 120 |
| Tabela 6.14 – Demandas não potáveis médias de água em edificações multifamiliares | 121 |
| Tabela 6.15 – Custos de aquisição de aparelhos hidráulicos economizadores..... | 124 |
| Tabela 6.16 – Quantitativos e custos totais de aquisição de aparelhos hidráulicos economizadores para os projetos-padrão..... | 125 |
| Tabela 6.17 – Custos de implantação de sistemas de medição individualizada por projeto-padrão em edifícios a serem construídos | 127 |
| Tabela 6.18 – Dimensionamento do sistema para projetos-padrão unifamiliares | 133 |
| Tabela 6.19 – Variáveis hidráulicas de aproveitamento de água de chuva – valores médios diários – em edificações unifamiliares em função das estimativas por pontos de consumo, para opção com caixa de descarga..... | 136 |
| Tabela 6.20 – Variáveis hidráulicas de aproveitamento de água de chuva para projetos-padrão unifamiliares em função das classes socioeconômicas..... | 137 |
| Tabela 6.21 – Potencial de economia de água potável, em decorrência do aproveitamento de água de chuva, em edificações residenciais unifamiliares, em escala municipal, em Belo Horizonte | 139 |
| Tabela 6.22 – Variáveis hidráulicas de aproveitamento de água de chuva em projetos-padrão multifamiliares..... | 145 |
| Tabela 6.23 – Potencial de economia de água potável, em decorrência do aproveitamento de água de chuva, em edificações residenciais multifamiliares, em escala municipal, em Belo Horizonte | 148 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 6.24 – Comparação entre diferentes estudos quanto ao potencial de economia de água potável em escala urbana por meio de aproveitamento de água de chuva | 150 |
| Tabela 6.25 – Redução do consumo de água com o uso de aparelhos economizadores | 151 |
| Tabela 6.26 – Potencial de economia de água por meio do uso de aparelhos economizadores em escala municipal..... | 153 |
| Tabela 6.27 – Descrição dos condomínios residenciais de acordo com o uso de medição individualizada | 154 |
| Tabela 6.28 – Estatísticas descritivas de consumo de água em edifícios residenciais | 157 |
| Tabela 6.29 – Redução do consumo de água em edifícios que possuem medição individualizada | 159 |
| Tabela 6.30 – Potencial de economia de água pelo uso de medição individualizada de água em edifícios em escala municipal..... | 160 |
| Tabela 6.31 – Potencial de redução do consumo de água potável para uso dos dispositivos hidráulicos economizadores em escala municipal..... | 162 |
| Tabela 6.32 – Resultados financeiros das simulações de aproveitamento de água de chuva | 164 |
| Tabela 6.33 – Resultados financeiros referentes ao uso de aparelhos economizadores..... | 167 |
| Tabela 6.34 - Resultados financeiros do uso de medição individualizada | 168 |
| Tabela 6.35 – Vazões e valores pagos pela COPASA referente ao uso de recursos hídricos na bacia do Rio das Velhas, para o município de Belo Horizonte | 169 |
| Tabela 6.36 – Cenários considerados quanto ao número de edificações residenciais unifamiliares e correlação com os projetos-padrão para a concessão de subsídios..... | 171 |
| Tabela 6.37 – Custos totais de implantação dos sistemas, para reservatórios de 3 e 4 m ³ | 171 |
| Tabela 6.38 – <i>Payback</i> recalculados para os diferentes cenários de subsídios para implantação do sistema em casas | 171 |
| Tabela 6.39 – Custos totais dos subsídios para implantação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais unifamiliares em escala municipal | 173 |
| Tabela 7.1 – Projetos-padrão R1-N e R1-A – Faixas de abrangência (áreas) | 176 |
| Tabela 7.2 – Projetos-padrão R1-N e R1-A – Simulações de aproveitamento de água de chuva para áreas extremas nas faixas de abrangência | 177 |
| Tabela 7.3 – Potenciais hidráulicos dos sistemas de aproveitamento de chuva para edificações residenciais em Belo Horizonte e Porto Alegre | 180 |
| Tabela 7.4 – Volumes extravasados de água de chuva para Porto Alegre e Belo Horizonte | 181 |
| Tabela 7.5 – Projetos-Padrão R1-N, R8-A e PP-N – Simulação variando a área de cobertura | 184 |

| | |
|--|-----|
| Tabela 7.6 – Número de edificações residenciais em cinco cenários considerados em escala municipal | 186 |
| Tabela 7.7 – Relação entre o potencial de economia de água potável e o percentual de edificações existentes abrangidas nas simulações | 187 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

| | |
|------------------|---|
| ABEP | - Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa |
| ABNT | - Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| A _{cob} | - Área de projeção de cobertura da edificação |
| AGB – Peixe Vivo | - Associação Executiva de Apoio à Gestão de Bacias Hidrográficas Peixe Vivo |
| ANA | - Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ANEEL | - Agência Nacional de Energia Elétrica |
| ARSAE | - Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Minas Gerais |
| AWWARF | - American Water Works Association Research Foundation |
| C | - Consumo normal de água |
| CBCS | - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável |
| CBH | - Comitê de Bacia Hidrográfica |
| CBH – Velhas | - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas |
| CEMIG | - Centrais Elétricas de Minas Gerais |
| CCEB | - Critério de Classificação Econômica Brasil |
| CMHC | - Canada Mortgage and Housing Corporation |
| COPASA | - Companhia de Saneamento de Minas Gerais |
| DN | - Deliberação Normativa |
| DTLE | - Distrito Operacional Leste (classificação COPASA para Belo Horizonte) |
| DTNO | - Distrito Operacional Noroeste (classificação COPASA para Belo Horizonte) |
| DTNT | - Distrito Operacional Norte (classificação COPASA para Belo Horizonte) |
| DTOE | - Distrito Operacional Oeste (classificação COPASA para Belo Horizonte) |
| DTSL | - Distrito Operacional Sul (classificação COPASA para Belo Horizonte) |
| DTSO | - Distrito Operacional Sudoeste (classificação COPASA para Belo Horizonte) |
| FIESP | - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo |
| HAB | - Habitantes |

| | |
|------------------|---|
| IBGE | - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IDH-M | - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal |
| INMET | - Instituto Nacional de Meteorologia |
| IPCA | - Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo |
| IPTU | - Imposto Predial e Territorial Urbano |
| IUWM | - Integrated Urban Water Management |
| L/hab | - Litros por Habitante |
| L/hab x dia | - Litros por Habitante por Dia |
| Litros/hab x dia | - Litros por Habitante por Dia |
| MAS | - Método da Análise da Simulação |
| MMA | - Método do Máximo Aproveitamento |
| NBR | - Norma Brasileira Revisada |
| NA | - Número de apartamentos por edifício (projeto-padrão); |
| NE | - Número de edifícios existentes; |
| OECD | - Organisation for Economic Co-Operation and Development |
| P | - Potencial de economia de água potável |
| P1MC | - Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: um Milhão de Cisternas Rurais |
| PEC | - Potencial de economia de água potável |
| PL | - Projeto de Lei |
| PMBH | - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte |
| PME | - Pesquisa Mensal de Emprego |
| PNRH | - Política Nacional de Recursos Hídricos |
| PRODABEL | - Empresa de Processamento de Dados de Belo Horizonte |
| PROSAB | - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico |
| R | - Consumo reduzido de água |
| R ² | - Coeficiente de Determinação (Quadrado do coeficiente de Correlação de Pearson) |
| R\$ | - Reais |

| | |
|--------------------|--|
| R\$/m ³ | - Reais por metro cúbico |
| RMBH | - Região Metropolitana de Belo Horizonte |
| RI | - Reservatório Inferior |
| RS | - Reservatório Superior |
| RWH | - Rainwater harvesting |
| SANEAGO | - Saneamento de Goiás S.A. |
| SIG | - Sistemas de Informação Geográfica |
| SINAPI | - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil |
| SINDUCSON | - Sindicato das Indústrias da Construção Civil no Estado de Minas Gerais |
| SNIS | - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento |
| SWH | - Stormwater harvesting |
| TCPO | - Tabela de Composição de Preços para Orçamentos |
| TMA | - Taxa Mínima de Atratividade |
| TIR | - Taxa Interna de Retorno |
| UNESCO | - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura |
| VC | - Volume consumido de água de chuva |
| VPL | - Valor Presente Líquido |
| WEI | - Water Exploitation Index |
| WSE | - Water Saving Efficiency |
| WSUD | - Water Sensitive Urban Design |
| <i>p-value</i> | - Resultado do comando “ <i>signtest</i> ” para a aplicação do Teste dos Sinais no programa MatLab. É definido como a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extrema que aquela observada em uma amostra, assumindo como verdadeira a hipótese nula. |

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

No contexto global, a sociedade e o poder público têm focado suas atenções à água por diversos fatores, tais como: (i) é importante na regulação climática; (ii) possui papel fundamental e estratégico em inúmeras atividades econômicas; (iii) é imprescindível à existência humana; (iv) apresenta déficit entre oferta e demanda, principalmente em grandes áreas urbanas, em decorrência de incertezas do ciclo hidrológico, elevação da demanda e degradação de mananciais. Pearce e Warford (1993) relacionam ainda algumas de suas funções ambientais básicas, como o fornecimento de insumo ao sistema produtivo, assimilação de resíduos gerados por diferentes atividades de origem antrópica e provisão de utilidades estéticas e de lazer.

Mediondo *et al.* (2002) e Domenech e Saurí (2011) apontam um expressivo aumento na demanda de água nas próximas décadas, acompanhado por mudanças climáticas que afetarão o regime de chuvas, agravando os episódios de inundações e secas, situação apontada também por Marengo (2008) e WORLD BANK (2014). Sant'Ana (2011) e Fisher-Jeffes (2015) indicam importantes desafios quanto ao abastecimento de água para fins residenciais, sendo que este último destaca o caso da África do Sul que, até 2030, poderá enfrentar déficit de até 17% para o abastecimento médio de água, considerando a demanda domiciliar total.

A escassez de água não pode mais ser considerada um atributo exclusivo de regiões áridas, sendo que muitas áreas com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender às demandas, experimentam restrições de consumo que afetam o desenvolvimento e a qualidade de vida, apresentando relevantes desafios sociais, econômicos e ambientais, de acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA, 2005). O Brasil, conforme ANA (2013), apresenta a maior disponibilidade hídrica per capita – na ordem de 43,5 m³/hab x ano – dentre os países com maiores economias do mundo. Entretanto, deve-se analisar o balanço entre a disponibilidade hídrica e sua distribuição territorial, visto que o balanço entre a oferta de água e as demandas quantitativas (captações) e qualitativas (lançamentos de efluentes) é de fundamental importância para o diagnóstico das bacias brasileiras, de forma a orientar as ações de planejamento, previstas na Política Nacional de Recursos Hídricos (ANA, 2013).

ANA realizou, com o emprego de série de dados hidrológicos e de demanda de água compreendida no período de 2006 a 2010, um balanço entre a disponibilidade hídrica e demanda de água no Brasil, utilizando o índice de retirada de água – Water Exploitation Index

(WEI)¹ –, o qual reflete a situação de utilização dos recursos hídricos e permite avaliar quão relevante é a estrutura de gestão requerida na bacia, com as seguintes classificações quanto à complexidade da gestão requerida: (i) Excelente: pouca ou nenhuma atividade de gerenciamento; (ii) Confortável: ações de gerenciamento para solução de problemas locais de abastecimento; (iii) Preocupante: realização de investimentos médios; (iv) Crítica: intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos; (v) Muito crítica.

Considerando as diversas bacias hidrográficas brasileiras, aquelas onde localizam-se grandes centros urbanos, sobretudo regiões metropolitanas, apresentam níveis que variam entre o “preocupante” ao “muito crítico”, conforme classificação indicada acima, requerendo atenção quanto aos riscos de escassez hídrica. Tal fato deve-se, conforme o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável (CBCS, 2014) à criticidade quali-quantitativa como resultado da grande demanda de água e da elevada carga orgânica doméstica lançada nos corpos d’água.

A água está intrinsecamente ligada ao desenvolvimento humano e tem sido essencial para os processos de crescimento urbano ao longo da história (MASJUAN *et al.*, 2008). Verifica-se que o acréscimo populacional em áreas urbanas, fato que, no Brasil foi agravado pela rápida transição de uma população predominantemente rural para uma sociedade essencialmente urbana, gera uma importante pressão sobre a demanda de água, trazendo à tona o tema referente à escassez desse recurso. Carmo *et al.* (2013) reforçam que o crescimento populacional exige maior investimento em infraestrutura e serviços básicos, mas que, por conta da transição demográfica, os aspectos referentes ao padrão de consumo de água (como se consome) e o nível (quanto se consome) devem ser considerados na análise da relação entre população e ambiente. Nesse caso, entende-se a transição demográfica como o processo decorrente da diminuição das taxas de mortalidade e natalidade que, ao longo do tempo, declinam e tendem a se equilibrar em patamares mais baixos (CARMO *et al.*, 2013). Outro aspecto importante, salientado pelos mesmos autores, quanto à transição demográfica é a transição do consumo do recurso – água – que está relacionado ao aumento da renda da população, abordagem também feita por Dias *et al.* (2010) e Dias *et al.* (2014).

¹ *Water Exploitation Index (WEI)* refere-se ao quociente entre a captação total média anual de água doce e disponibilidade média de recursos de água doce a longo prazo, os quais são derivados, também a longo prazo, da precipitação média menos a evapotranspiração média, mais a entrada média de longo prazo de países vizinhos (ANA, 2013; CBCS, 2014; LALLANA e MARCUELLO, 2014). Indica como a captação total de água pressiona os recursos hídricos e se o país está propenso a sofrer problemas de escassez de água.

Libânio (2006) também argumenta que a ideia de abundância da água, considerada por longo tempo um recurso renovável e inesgotável, desfaz-se diante da constatação do crescimento de sua demanda a partir do século passado, da variabilidade geográfica e sazonal da oferta hídrica e da degradação ambiental massiva e inconsequente.

Conforme Nascimento *et al.* (1996) e Nascimento e Heller (2005), os fatores citados tornam impossível a substituição dos recursos hídricos por qualquer capital artificial e a consequente aplicação do conceito de desenvolvimento sustentável fundamentado na racionalidade econômica neoclássica. Nesse conceito, a sustentabilidade é assegurada desde que não haja, entre as sucessivas gerações, a redução no estoque total de capital natural (recursos naturais renováveis e não renováveis) e artificial (bens produzidos pelo homem), significando que a perda de capital natural pode ser compensada ou substituída pela geração de capital artificial. Tal afirmativa, conforme abordagem da economia ecológica (DALY, 1991), denomina-se sustentabilidade fraca, sendo contraposta pela sustentabilidade forte, cuja premissa é que a economia (abordagem convencional) é um subsistema da biosfera finita, dando-lhe suporte.

Nas regiões metropolitanas, a expansão urbana, frequentemente não planejada, muitas vezes ilegal, encontra-se na origem de sérios comprometimentos da qualidade da água de mananciais de abastecimento urbano (NASCIMENTO e HELLER, 2005), incluindo-se na referida expansão urbana, além de áreas comerciais e industriais, condomínios residenciais de diferentes padrões socioeconômicos. Os autores indicam ainda que a demanda por água de abastecimento é um importante fator nos conflitos pelo uso de recursos naturais. Argumentam que, com as crescentes pressões pelo aumento do consumo, os mananciais de abastecimento de água mais próximos à zona urbana tornam-se insuficientes ou têm a qualidade das águas deteriorada pela própria expansão urbana. Torna-se necessário buscar água em maior volume e a distâncias maiores, com possibilidade de transferência de água entre bacias, surgindo, por consequência, novas restrições e novos conflitos pelo uso da água. Os mesmos autores observam que uma das perspectivas de *Ciência, Tecnologia e Inovação* está na interface entre o saneamento e a área de recursos hídricos, com um propósito geral de redução da demanda por água de abastecimento.

Boni (2009) destaca que o conceito de desenvolvimento sustentável, quando aplicável à construção civil, apresenta importantes desafios relacionados ao desempenho ambiental, eficiência energética, uso de materiais e tecnologias que minimizem os impactos ao meio ambiente e diminuição do consumo de água potável e não potável. A redução do consumo de água implica, além de aspectos educacionais e relacionados à conscientização no tocante ao

uso do recurso, em medidas que visem à racionalidade do uso, incluindo a diminuição de pressão hidráulica nos pontos de consumo, uso de tecnologias economizadoras, manutenção eficiente, emprego de fontes alternativas e setorização da medição com a gestão da demanda.

A sustentabilidade do desenvolvimento econômico e social pode ser garantida por meio de ações relacionadas à gestão da oferta e gestão da demanda de água, sobretudo nos locais onde há desequilíbrio entre tais aspectos, desde que tais ações sejam convenientemente desenvolvidas e aplicadas em função de características de sistemas e centros de produção específicos (ANA, 2005). As referidas podem ser inseridas por meio de investimentos em desenvolvimento tecnológico e na busca de soluções alternativas para a ampliação da oferta de água como, por exemplo, a utilização de reuso e aproveitamento de água de chuva, bem como ações para a eficiente gestão da demanda, reduzindo os índices de perdas e desperdícios nos sistemas de distribuição e nas áreas internas das edificações.

Davis e Hirji (2003) reforçam a necessidade de implementação de medidas de redução da demanda de água, conforme corroboram Sharma et al. (2008) os quais, sob a ótica da gestão integrada de águas urbanas (IUWM²), consideram que um dos objetivos críticos dos modelos de gestão hídrica é a redução da demanda de água potável para abastecimento, que pode ser alcançado por meio de algumas alternativas, tais como: armazenamento e uso de águas de chuva em edifícios, reutilização de águas residuárias para irrigação de jardins e áreas verdes, além de uso de água de chuva para irrigação de áreas públicas.

Destaca-se ainda, conforme aponta relatório da Organisation for Economic Co-Operation and Development (OECD, 2009) que um dos importantes aspectos quanto à manutenção de níveis adequados de abastecimento de água à população, em termos qualitativos e quantitativos, é a necessidade de melhores condições de financiamento em curto, médio e longo prazo, sobretudo em países em desenvolvimento

Neste contexto, a presente pesquisa apresenta uma proposta metodológica para avaliação de estratégias de conservação de água potável e da redução de seu consumo residencial, por meio da diversificação da oferta, como uso de água de chuva para fins não potáveis em domicílios e a implantação de dispositivos tecnológicos, como o uso de aparelhos hidráulicos

² Integrated Urban Water Management (IUWM) inclui todos os aspectos do ciclo hídrico, otimizando as soluções de operação e gerenciamento. Baseia-se em uma abordagem multidirecional na gestão urbana da água, sendo utilizado no conceito *fit-for-use*, ou seja, “o padrão de qualidade da água deve ser compatível ao uso previsto”. Um dos aspectos da IUWM é a WSUD – Water Sensitive Urban Design, que foca o planejamento e configuração dos sistemas hídricos de modo a alterar o mínimo possível o ciclo da água (SHARMA *et al.*, 2008).

economizadores de água e hidrometração (ou medição) individualizada de água em edifícios de apartamentos.

Para tanto, por meio do desenvolvimento do estudo de caso para o município de Belo Horizonte, localizado na Região Sudeste do Brasil, no Estado de Minas Gerais, foram analisadas as relações entre o padrão de consumo residencial de água conforme o perfil socioeconômico da população e as características construtivas das edificações. Por meio da aplicação das referidas estratégias em projetos-padrão que caracterizam as edificações residenciais existentes, foram obtidos resultados que possibilitaram a avaliação das estratégias em larga escala (escala municipal). Pesquisou-se ainda a viabilidade da implementação de tais estratégias à luz de métodos de análise de investimento e custo-benefício, utilizando parâmetros como *payback descontado* e valor presente líquido (VPL). Por fim, foram propostas diretrizes e sugestões para a elaboração de políticas públicas relacionadas ao tema, tais como modelos de incentivo, financiamento, regulação, dentre outros.

A metodologia foi empregada no município de Belo Horizonte, como estudo de caso, devido à base cadastral existente e à disponibilidade de informações necessárias ao desenvolvimento da pesquisa. Salienta-se que é possível aplicar o método ora proposto a outros municípios mediante disponibilidade e adequação da base de dados.

Dentre os benefícios decorrentes da implantação de estratégias de promoção de consumo racional e a conseqüente redução do consumo de água potável, podem ser destacados:

- Economia de recursos, como energia elétrica, produtos químicos, mão-de-obra, dentre outros, nas fases de captação, tratamento e distribuição de água;
- Redução na geração de lodo inerente aos processos de tratamento e potabilização da água;
- Alívio da pressão sobre os mananciais e recursos hídricos e a proteção dos mesmos, mantendo a disponibilidade hídrica para outros usos e contribuindo para o atendimento da vazão ecológica.

O presente texto está estruturado em 8 capítulos:

O capítulo 1 introduz e contextualiza o assunto, apresentando sua relevância e a estrutura do trabalho.

O capítulo 2 apresenta os objetivos principal e específicos, as hipóteses e as questões a serem respondidas.

A revisão de literatura, no capítulo 3, aborda os aspectos qualitativos e quantitativos do consumo domiciliar de água, estratégias de conservação de água em residências, notadamente o aproveitamento de água de chuva, o uso de aparelhos hidráulicos economizadores e medição individualizada em edifícios de apartamentos. Aborda também as bases de teoria econômica convencional e ecológica, bem como conceitos importantes aplicáveis ao tema, incluindo métodos de análise financeira.

No capítulo 4 é feita a caracterização do local adotado como estudo de caso – município de Belo Horizonte – com dados sobre população, perfil socioeconômico, índices e parâmetros de saneamento básico, em especial o abastecimento de água.

O capítulo 5 descreve as diretrizes metodológicas, a base de dados utilizada no desenvolvimento da pesquisa e os procedimentos para estabelecer: (i) os projetos-padrão utilizados nas simulações e que possibilitam a redução da variabilidade das edificações residenciais existentes no município; (ii) a caracterização qualitativa e quantitativa das edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares existentes no local de estudo, a partir da base cadastral da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte; (iii) a implementação das estratégias de conservação de água – aproveitamento de água de chuva, aparelhos economizadores e medição individualizada em edifícios –, descrevendo também a série histórica de precipitações, bem como os parâmetros de custos de implantação, operação e manutenção dos dispositivos; (iv) as análises de investimento (custo-benefício).

O capítulo 6 apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia, abordando os aspectos de consumo domiciliar de água potável e não potável e distribuição das edificações residenciais existentes. Para cada projeto-padrão, foram apresentados os resultados referentes à viabilidade técnica (hidráulica) e financeira do uso dos dispositivos estudados, bem como as extrapolações em larga escala (escala municipal) visando à análise do potencial de redução do consumo de água potável, considerando a hipótese de uso generalizado das medidas de conservação.

No capítulo 7 são desenvolvidas as discussões dos resultados, apresentando outras simulações, abordando o potencial de aplicação da metodologia em outros locais, além da proposição de diretrizes para elaboração de políticas públicas referentes ao tema.

O capítulo 8 traz as conclusões da pesquisa, incertezas quanto à metodologia e resultados, bem como recomendações e sugestões para futuros trabalhos.

2 OBJETIVOS, HIPÓTESES E QUESTÕES A SEREM RESPONDIDAS

Estão descritos a seguir os principais objetivos – geral e específicos –, hipóteses (H) e questões propostas (Q) no presente trabalho, ressaltando que o mesmo foi direcionado à tipologia específica de consumo doméstico de água e foi aplicado ao município de Belo Horizonte.

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral da presente pesquisa é avaliar, sob os pontos de vista hidráulico e financeiro, estratégias de conservação de água potável e da redução de seu consumo residencial, por meio da diversificação da oferta, como uso de água de chuva para fins não potáveis em domicílios, a implantação de dispositivos tecnológicos, como o uso de aparelhos hidráulicos economizadores de água e a medição individualizada de água em edifícios de apartamentos.

2.2 Objetivos específicos

- Estudar o consumo domiciliar de água em função da classificação socioeconômica das famílias e as características físicas e construtivas das edificações residenciais, no local onde foi desenvolvido o estudo de caso.
- Estudar os aspectos referentes à gestão da oferta e da demanda domiciliar de água.
- Analisar a viabilidade técnica (do ponto de vista hidráulico) e financeira (do ponto de vista do investidor privado) das estratégias e ações que visem à redução do consumo residencial de água potável em escala municipal.
- Propor diretrizes para a elaboração de políticas públicas relativas à redução do consumo residencial de água potável em larga escala de modo a fomentar o emprego de tecnologias apropriadas.

2.3 Hipóteses básicas e questões a serem respondidas

As hipóteses básicas (H) e as questões a serem respondidas (Q) são relacionadas a seguir:

H1) O consumo de água é função do perfil socioeconômico das famílias e das características físicas e construtivas da residência.

Q1) Como é a relação existente entre o consumo residencial de água e as características socioeconômicas das famílias e das características físicas da residência?

H2) Do ponto de vista tecnológico, há diversos dispositivos que podem proporcionar redução do consumo residencial de água potável e é importante o emprego de métodos de análise de investimento, sob a ótica do investidor privado, para o auxílio à decisão quanto às técnicas mais apropriadas e os estudos de viabilidade em larga escala (escala municipal).

Q2.1) Quais estratégias tecnológicas podem ser adotadas, sob o ponto de vista de gestão de demanda de água, para que sejam alcançados os objetivos quanto à redução do consumo residencial deste recurso?

Q2.2) Quais métodos de análise financeira podem ser utilizados na identificação de viabilidade, do ponto de vista privado, das medidas de redução do consumo domiciliar de água em larga escala?

Q2.3) No esforço da sociedade visando à redução de consumo domiciliar de água potável, qual a contribuição de cada classe socioeconômica para tal?

O *esforço global* mencionado na questão proposta no presente trabalho refere-se à população residente na região urbana onde estão sendo planejadas as ações pela manutenção de níveis adequados de abastecimento de água, ou seja, é a ação de gerenciamento em nível “meso”, na escala dos sistemas de saneamento, conforme indicado por Oliveira (1999).

H3) Subsídios financeiros e regulações são importantes ferramentas para a implementação de estratégias de redução de consumo residencial de água e devem ser adequadamente utilizadas para os casos de edificações existentes e edificações a serem construídas.

Q3) Quais ações e estratégias são mais viáveis em larga escala, analisando-se as diferentes classes socioeconômicas e os aspectos financeiros (custo-benefício)?

3 REVISÃO DE LITERATURA

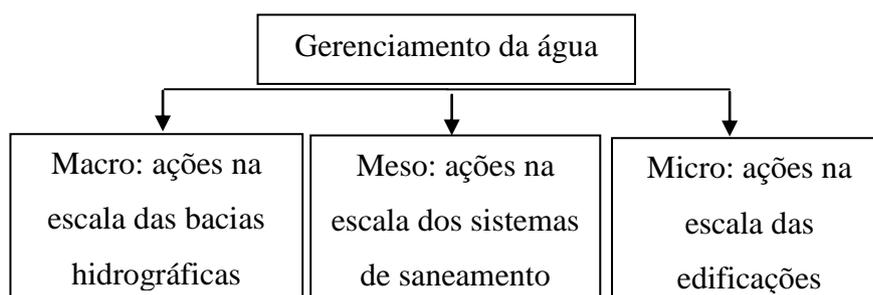
3.1 O uso sustentável da água

A água – englobando principalmente o sistema de abastecimento, esgotamento sanitário e drenagem pluvial – é um importante componente de qualquer área urbana, cidade ou região, e o uso racional e sustentável deste recurso é fundamental para a viabilidade do desenvolvimento da sociedade (MITCHELL, 2007).

Veloso e Mendes (2013) apontam que a gestão de recursos hídricos pode ser entendida como o processo que visa administrar o uso racional dos estoques de água, de modo a controlar seu aproveitamento sem comprometer o meio natural e o bem estar da sociedade, realizando a conservação do recurso. Neste sentido, como instrumento de política pública, a Agenda 21 menciona que o gerenciamento do uso da água e a procura por novas alternativas de abastecimento como aproveitamento das águas pluviais, a reposição das águas subterrâneas e o reuso da água estão inseridos no contexto do desenvolvimento sustentável, o qual propõe o uso dos recursos naturais de maneira equilibrada e sem prejuízos para as futuras gerações (BRASIL, 2002).

No gerenciamento dos recursos hídricos, Oliveira (1999), *apud* Gonçalves (2009), indica a adoção de três níveis de abordagem ou intervenção, descrita na Figura 3.1, destacando-se os aspectos quantitativos e qualitativos da água em cada nível.

Figura 3.1 – Ações de gerenciamento da água



Fonte: Oliveira (1999), *apud* Gonçalves (2009)

No âmbito do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB 5) – Uso Racional de Água e Energia, Gonçalves (2009) orienta que a engenharia de recursos hídricos se detém com maior atenção ao nível macro e às quantidades de água associadas, considerando as regiões e as bacias hidrográficas. Quanto aos usos múltiplos, é dada maior importância à

disponibilidade e à demanda segundo cada tipo de uso, sendo que o sistema de gerenciamento por bacia hidrográfica tornou possível identificar usuários de forma mais específica. No nível meso, são desenvolvidos os serviços de saneamento básico, nos quais as quantidades e qualidades da água de um manancial estão especialmente vinculadas ao abastecimento de determinada ocupação urbana e os regimes de captação, tratamento e distribuição são detalhadamente descritos. Neste, a qualidade das águas envolvidas na prestação dos serviços de saneamento é igualmente conhecida em detalhe e monitorada continuamente. O nível micro ocorre nas edificações, tendo grande importância o conhecimento particularizado das estruturas dos sistemas prediais hidrossanitários e as qualidades das águas envolvidas, sendo objeto de controle e estudos detalhados.

O uso sustentável da água, por meio de ações de conservação da disponibilidade hídrica, pode ser obtido com medidas de redução da demanda. Tradicionalmente, os conflitos ocorridos pelo uso da água para abastecimento humano foram solucionados pelo aumento da oferta, construção de novas fontes de abastecimento e expansão de sistemas, mas observou-se, nas últimas décadas, que tais abordagens não eram sustentáveis sob a ótica econômica e ambiental. O gerenciamento pelo lado da demanda é uma abordagem mais eficiente e moderna, pois considera a redução do uso excessivo por meio de programas de conservação e de reuso de água, dentre outros (UNESCO, 2006).

Assim, torna-se importante o conceito do uso de água (GONÇALVES, 2009): é o emprego do recurso natural água na execução de um evento promovido pela ação humana ou é a sua participação em fenômeno natural alterado por ação humana. Pode ser: (i) em corpos hídricos naturais e construídos; (ii) no meio rural; (iii) na indústria ou em edificações voltadas ao comércio e serviços; (v) no espaço público; (vi) nos sistemas públicos de saneamento.

Brasil (2006) e ANA (2013) classificam os usos da água em *consuntivo* e *não consuntivo*. Os usos consuntivos referem-se principalmente aos usos urbanos (doméstico, público e industrial), rural (comunidades) e agropecuário. Os usos não consuntivos referem-se às atividades de navegação, hidroeletricidade, recreação e lazer, piscicultura e aquicultura. Essas atividades, apesar de não afetarem a disponibilidade quantitativa da água, podem ter efeitos sobre a qualidade e/ou sobre o regime de vazões do manancial. Destaca-se, nesse estudo, o uso em edificações residenciais, também denominado de uso doméstico. De acordo com Terpstra (1999), a água destinada ao consumo humano pode ter dois fins distintos: (i) *potáveis*: higiene pessoal, ingestão e preparação de alimentos (usos de água com rigoroso padrão de potabilidade, conforme legislação); (ii) *não potáveis*: lavagem de roupas, carros,

calçadas, irrigação de jardins, descarga de vasos sanitários, piscinas, entre outros. As atividades de limpeza e higiene são as principais responsáveis pelo consumo interno, enquanto que o externo deve-se à irrigação de jardins, lavagem de áreas externas, de veículos, piscinas, entre outros. As exigências mínimas de qualidade da água para o uso não potável são descritas na Tabela 3.1, conforme as diferentes atividades a serem realizadas nas edificações.

Tabela 3.1 – Exigências mínimas para uso de água não potável, conforme atividade

| Atividade | Exigências mínimas |
|--|--|
| Irrigação de jardim e lavagem de pisos | Não deve: apresentar mau cheiro, conter componentes que estimulem o crescimento de pragas ou agridam as plantas, ser abrasiva, manchar superfícies, propiciar infecções ou a contaminações prejudiciais à saúde. |
| Descarga em bacias sanitárias | Não deve: apresentar mau cheiro, não deve ser abrasiva, não deve manchar superfícies ou deteriorar os metais sanitários, não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde. |
| Sistema de ar condicionado | Não deve: apresentar mau cheiro, ser abrasiva, manchar superfícies, deteriorar máquinas, formar incrustações. |
| Lavagem de veículos | Não deve: apresentar mau cheiro, ser abrasiva, manchar superfícies, conter sais ou substâncias remanescentes após secagem, propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde. |
| Lavagem de roupa | Deve ser incolor, livre de algas, partículas sólidas e metais. Não deve: ser turva, apresentar mau cheiro, deteriorar os metais e equipamentos sanitários, propiciar infecções ou microorganismos prejudiciais à saúde. |
| Uso ornamental | Deve ser incolor. Não deve: ser turva, apresentar mau-cheiro, deteriorar os metais sanitários e equipamentos, propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde. |
| Uso em construção civil | Não deve apresentar mau cheiro, alterar as características de resistência dos materiais, favorecer o aparecimento de eflorescências de sais, propiciar infecções ou a contaminação por microorganismos prejudiciais à saúde. |

Fonte: ANA, 2005

No tocante ao uso de água potável, a Portaria n. 518/2004 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), estabelece os requisitos de qualidade da água para consumo humano.

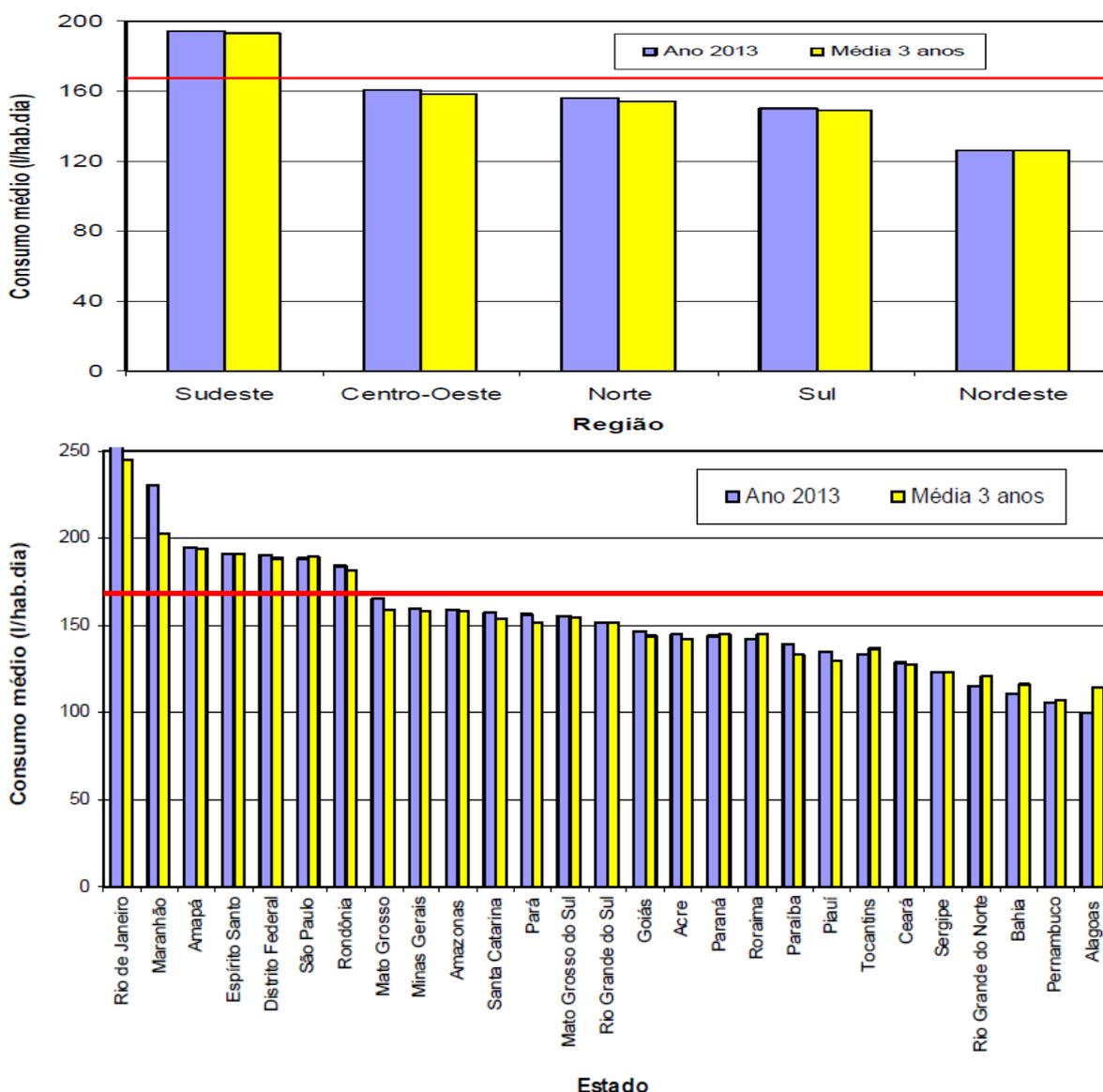
3.2 O Consumo de água

Segundo o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, elaborado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (BRASIL, 2014), o consumo médio *per capita* de água é o volume médio de água consumido, dividido pela média da população atendida com abastecimento de água, para um dado intervalo de tempo. Em outras palavras, é a média diária, por indivíduo, dos volumes utilizados para satisfazer os consumos domésticos, comercial, público e industrial (BRASIL, 2014). No caso da pesquisa divulgada em 2014, o período de referência engloba os anos 2011 a 2013. Trata-se de um conceito importante para

as projeções de demanda e dimensionamento de sistemas de água e esgoto, ressalvando-se que o referido conceito engloba também outras tipologias de uso de água e não apenas a residencial. Assim, a demanda de água pode ser conceituada como o total de água necessária ou requerida para suprir o consumo em um determinado período de tempo (BILLINGS e JONES, 2008). Gonçalves (2009) indica que o consumo residencial de água pode alcançar mais da metade do consumo total em áreas urbanas. Nas regiões metropolitanas de São Paulo e Vitória, por exemplo, o consumo residencial de água corresponde a aproximadamente 80% do consumo total urbano, que inclui o consumo comercial, industrial e público.

A Figura 3.2 mostra o consumo médio per capita em 2013 e na média dos anos 2010, 2011 e 2012, segundo o conceito exposto, para cada região e estado brasileiro, podendo-se observar que a média dos últimos três anos é ligeiramente inferior ao ano de referência (2013).

Figura 3.2 – Consumo médio *per capita* total de água no Brasil



Fonte: BRASIL (2014)

Verifica-se que a Região Sudeste apresenta o maior consumo médio per capita (192,8 L/hab x dia), sendo a única a exceder a média do país (165,5 L/hab x dia). O Estado de Minas Gerais apresentou menor consumo per capita na Região Sudeste, com 158,0 L/hab x dia e o Estado do Rio de Janeiro, o maior consumo per capita diário, com 245,0 L/hab x dia.

Gonçalves (2009) cita um esquema elaborado por Kiperstok (2007)³, no qual é destacada a importância de mecanismos de controle do consumo de água em edificações, conforme descrito na Figura 3.3, que representa os fatores que devem ser analisados visando à organização das ações para a minimização do consumo. Nesse sentido, para que exista controle é imprescindível a medição e que os usuários tenham conhecimento da mesma.

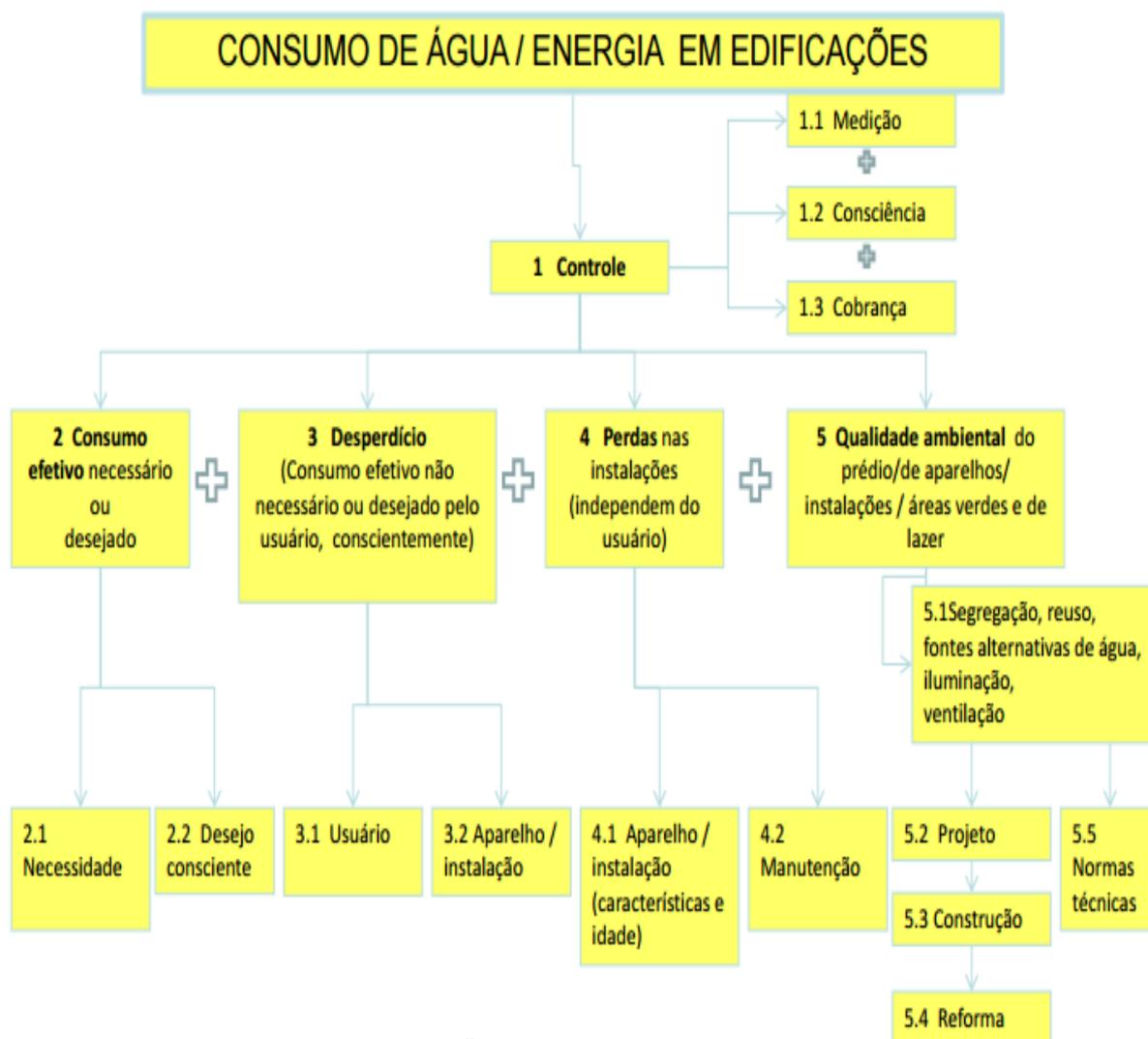
Ainda de acordo com Kiperstok (2007)³, citado por Gonçalves (2009), o consumo efetivo é a grandeza que mede a quantidade de água utilizada na consecução de um determinado uso nas condições ditadas pelas circunstâncias do período do uso, destacando-se o tipo de tecnologia disponível associado ao uso em questão e as condições culturais relativas ao usuário. É possível agregar características de eficiência ao consumo efetivo, de modo que uma menor quantidade de água cumpra as funções necessárias de determinado uso, como no caso de aparelhos hidráulicos economizadores. Toma-se como exemplo uma descarga moderna – “*dual flush*” – que consome menos água que as descargas convencionais. O mesmo autor explica que o consumo de água predial decorre de quatro aspectos que devem ser analisados visando à organização das ações para sua minimização e referem-se: (i) aos mecanismos de controle do consumo de água no edifício, destacando-se a medição individualizada; (ii) ao consumo efetivo e refere-se ao atendimento das necessidades básicas dos usuários, como higiene, ingestão e preparo de alimentos; (iii) às perdas físicas nas instalações provocadas por vazamentos, visíveis ou não; (iv) à qualidade ambiental do prédio, incluindo a possibilidade de captação de águas pluviais e outras fontes alternativas, além de sistemas segregados de instalações hidráulico-sanitárias, visando facilitar o reuso da água com qualidade adequada para usos não potáveis.

Tamaki (2003) analisou a gestão de demanda de água, salientando a importância da medição setorizada. Neste sentido, o conhecimento do consumo total de água, desagregado segundo os pontos de utilização em uma edificação, é de fundamental importância para determinar onde devem ser priorizadas as ações de conservação da água. Tal desagregação denomina-se perfil de consumo residencial de água, também têm sido denominados usos finais (DEOREO, 2000). O perfil, na sua forma mais completa, compreende o conhecimento da quantidade e da

³ Disponível em http://www.hidroaer.ita.br/otaa/files/I_OTAA_UFBA_Asher_Kiperstok.pdf. Acesso em 15/12/2016.

qualidade de água consumida nos diversos usos prediais. Assim, na determinação do perfil de consumo residencial, é importante considerar também as duas classes de usos: potáveis e não potáveis ou, numa condição ainda mais aprimorada, determinar a qualidade requerida para a água em cada uso considerado (“*fit-for-use*”). A determinação dos perfis de consumo depende de diversos fatores (DEOREO, 2006), tais como: (i) número de habitantes da residência e tempo de permanência durante os dias da semana; (ii) área construída e número de aparelhos sanitários disponíveis; (iii) características técnicas do serviço público de abastecimento e o sistema predial – direto e indireto; (iv) clima da região; (v) características culturais da comunidade; (vi) perdas e desperdícios nas instalações prediais e nos usos; (vii) renda familiar; (viii) valor da tarifa de água; (ix) gerenciamento do sistema de abastecimento.

Figura 3.3 – Consumo total de água predial



Fonte:

Kiperstok (2007), disponível em http://www.hidroaer.ita.br/otaa/files/I_OTAA_UFBA_Asher_Kiperstok.pdf. Acesso em 15/12/2016.

O consumo residencial de água sofre interferência de diversas variáveis (THOMPSON *et al.*, 1995) e THOMPSON e LIMA, 2007): estrutura tarifária de água, definida pelo prestador de serviço local, renda familiar, número de pessoas residentes, características construtivas do domicílio, como a área construída, padrão de acabamento, o número de cômodos, dentre outras. Assim, devem ser levadas em conta as elasticidades preço e renda como fatores intervenientes no consumo domiciliar de água, na determinação dos preços ótimos a serem cobrados pelo consumo de água no estabelecimento e diferenciais tarifários segundo o nível social dos consumidores. Tais fatores também devem ser considerados na quantificação da demanda futura por água. O conceito de elasticidade – que, de forma geral, é a variação relativa de uma variável em relação a outra – encontra-se desenvolvido no item 3.4.3.

Thompson *et al.* (1995) observaram, para amostra de dados coletada no Estado do Paraná, que a variável renda não afetou a quantidade demandada por água, ou afetou de maneira bastante reduzida, praticamente nula. Contudo, Thompson e Lima (2007), estudando o assunto para o contexto da região norte do Estado de Minas Gerais, caracterizada pela ocorrência de população predominantemente de baixa renda, verificaram que há um impacto positivo no consumo de água, ou seja, variações da renda acarretam variações no consumo residencial de água, mesmo que não seja no mesmo percentual.

Faria (1995) estimou a elasticidade-renda para a população residente na região metropolitana de Vitória e de Guarapari, no Estado do Espírito Santo, trabalhando com dois estratos de renda – baixa e alta, tendo observado que:

“Os resultados encontrados parecem concordar com o que se observa na realidade. A menor elasticidade-renda no caso do estrato de baixa renda pode ser explicada pelo fato de que esse grupo de consumidores, tendo satisfeito suas necessidades básicas de água, cresce relativamente pouco o consumo quando tem sua renda aumentada...Por outro lado, o estrato de renda mais alta é mais sensível, incentivado pelos outros usos, à água tratada. Para esse grupo, a sensibilidade ao aumento da renda é maior, representada pela utilização de bens domésticos que proporcionam maior conforto, como piscinas e banheiras de hidromassagem, além de construção de casas de maior porte, com jardins e área para recreação. Esse comportamento social reflete nos resultados encontrados, que demonstram maior impacto no consumo de água, devido a variações na renda familiar”. (pág. 106)

Destaca-se ainda o trabalho desenvolvido por Dias (2008) e Dias *et al.* (2010), propondo um modelo que relaciona as variáveis renda familiar e o consumo *per capita* residencial de água no município de Belo Horizonte. Para tanto, foi utilizada a Pesquisa Mensal de Emprego (PME) realizada pelo IBGE e os dados de consumo residencial de água em Belo Horizonte, obtidos junto à COPASA. No contexto do presente trabalho, Dias *et al.* (2014) atualizaram a relação entre as grandezas – renda *per capita* e consumo residencial de água –, utilizando base de dados de 111 meses (agosto de 2003 a outubro de 2012) em Belo Horizonte.

Sant’Ana (2011) analisou o consumo doméstico de água, objetivando avaliar a viabilidade de implantação de medidas de conservação no contexto brasileiro por meio de um estudo de caso realizado no Distrito Federal, Brasil. Conduziu, por meio de entrevistas, questionários e verificações *in loco*, as relações entre o consumo domiciliar de água (interno e externo), a renda familiar, as tipologias construtivas e o comportamento dos moradores, concluindo que:

- Tais fatores devem ser considerados nos estudos de demanda de água, sistemas de reutilização, dimensionamento e quantificação do potencial conservação de água;
- A implantação de sistemas de reutilização (principalmente o aproveitamento de água de chuva e reuso de águas cinzas), não obstante promoverem economia de água potável, apresentam menor viabilidade quanto aos aspectos financeiros, em relação a outras estratégias, sobretudo relacionadas a dispositivos hidráulicos economizadores, independentemente do nível de renda e tipologia de habitação. Destacou ainda que os proprietários das residências, apesar de estarem cientes da existência de dispositivos que proporcionam redução do consumo de água, a disposição a pagar pelos mesmos é baixa, salvo em caso de rápidos benefícios financeiros de seus investimentos;
- Os resultados financeiros obtidos a partir da instalação de dispositivos economizadores mostraram-se satisfatórios para todos os tipos de domicílios, independentemente do nível de renda familiar, devido ao baixo custo de implantação. As análises sugeriram também que a combinação dos sistemas de reuso de água com os aparelhos economizadores proporcionaram viabilidade financeira apenas para edificações com altos consumos.

Um parâmetro importante no desenvolvimento dessa pesquisa é o percentual máximo de uso de água não potável em relação ao consumo total domiciliar. Estudos realizados no Brasil mostram que o maior consumo residencial de água concentra-se na descarga de vasos sanitários, lavagem de roupas e nos banhos. Em média, cerca de 40% do total de água consumida em uma residência são destinados aos usos não potáveis, para bacia sanitária,

máquina de lavar roupas, irrigação de jardins e limpeza interna e externa, variando de 35 a 55% entre os estudos avaliados (GONÇALVES, 2009; VIEIRA, 2012). Pesquisas internacionais apresentaram maior potencial para utilização de fontes alternativas de água para usos não potáveis (média em torno de 49% para água pluvial e 38% para água cinza) em relação aos estudos nacionais (40% para água pluvial e 22% para água cinza) (ROEBUCK *et al.*, 2011; VIEIRA, 2012; DEOREO e MAYER, 2012).

Estão descritos nas Tabelas 3.2 e 3.3 alguns resultados referentes às estimativas de consumo interno residenciais no Brasil e em outros países, conforme diferentes autores. Levantamentos mencionados por Billings e Jones (2008) confirmam alguns percentuais estimativos de consumo interno em domicílios nos Estados Unidos: descargas sanitárias (27%), máquinas de lavar roupas (22%), chuveiros (17%) e outros usos (34%).

Um aspecto a ser considerado refere-se à ocorrência de perdas nas tubulações internas das edificações e nos sistemas de abastecimento de água, decorrentes de vazamentos, ligações clandestinas, dentre outros (GONÇALVES, 2009). Entretanto, não obstante sua relevância ao tema concernente à economia e conservação de água potável, no presente estudo tal aspecto não foi abordado, salientando-se que a implantação de dispositivos de redução do consumo residencial de água potável seja uma medida complementar às ações ligadas à redução das perdas internas das edificações e nos sistemas públicos de distribuição.

Tabela 3.2 – Comparativo de índices de consumo *per capita* residencial de água

| Autor / local de estudo | Padrão da edificação | Per capita (L/hab x dia) | Por dormitório (L/dorm x dia) | Por área (L/m ² xdia) |
|--|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Prosab 5 (Gonçalves, 2009) Vitória – ES | Convencional | 216 | 181 | 6,5 |
| | Com reuso ⁽¹⁾ | 196 | 150 | 4 |
| Prosab 5 (Gonçalves, 2009) Florianópolis – SC | Residência unifamiliar | 143,8 | - | - |
| Rodrigues (2005) Vitória – ES | SIMIC ⁽²⁾ | 156 | 188 | 5 |
| | BASC ⁽³⁾ | 189 | 218 | 6 |
| | SECO ⁽⁴⁾ | 223 | 242 | 6 |
| CMHC ⁽⁵⁾ / Canadá | Apartamento | - | - | 2,24 |
| Mayer (2001) / EUA | Convencional | 263 | - | - |

(1) Edifício dotado de sistema de reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais

(2) SIMIC – edifício com caixa de descarga acoplada e sistema de medição individualizada do consumo de água

(3) BASC – bacia sanitária caixa de descarga acoplada

(4) SECO – sem dispositivos economizadores

(5) CMHC – Canada Mortgage and Housing Corporation

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2009)

Tabela 3.3 – Percentuais de consumo para diferentes pontos internos residenciais (%)

| Local ou aparelho de uso da água | % |
|----------------------------------|----|
| Vaso sanitário | 21 |
| Lavagem de roupa | 35 |
| Banho (chuveiros e duchas) | 29 |
| Torneiras em geral | - |
| Cozinha | 15 |

Fonte: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB 5 (Gonçalves, 2009);

(1) Inclui água para ingestão, cozimento lavagem de pratos

3.3 Dispositivos de redução de consumo residencial de água

Sharma e Vairavamoorthy (2009) e Ribeiro e Braga (2008), citados por Guedes *et al.* (2014), propõem o agrupamento das medidas de gestão de água – consumo e demanda – em ambientes urbanos, segundo as seguintes categorias:

- *Tecnológicas*: referem-se ao controle de perdas nas redes de água, com micro e macromedição e/ou sistemas automatizados de monitoramento das redes; uso de aparelhos sanitários economizadores; medição individualizada de água em edifícios residenciais; uso de fontes alternativas de abastecimento, como água de chuva e reuso de águas cinzas;
- *Econômicas*: abrangem os estímulos fiscais para redução do consumo de água em edificações e o aumento da eficiência das concessionárias de abastecimento; tarifação que estimule o consumo racional;
- *Sociopolíticas*: incluem ações regulatórias governamentais, como legislação que induza o uso racional da água, regulações de sistemas construtivos e instalações prediais; programas e campanhas de educação ambiental; fatores sociológicos quanto à aceitação, pela população, de medidas de redução do consumo.

O enfoque do presente trabalho está relacionado notadamente: (i) na avaliação de medidas tecnológicas de diversificação de oferta de água por meio do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em residências, além de outras duas que possam, direta ou indiretamente, proporcionar redução do consumo de água – medição individualizada em edifícios e uso de aparelhos economizadores; (ii) na avaliação de aspectos econômicos, particularmente em análises financeiras de investimento, sob a ótica privada e de custo-

benefício; (iii) às ações governamentais referentes aos aspectos regulatórios dos sistemas construtivos e instalações prediais.

Sob a ótica tecnológica, para edificações residenciais já construídas e a construir, a implantação de sistemas de reuso de águas amarelas e cinzas representa dificuldades técnicas maiores do que a instalação de sistemas de aproveitamento de água de chuva. Tais dificuldades ocorrem sob os aspectos de risco sanitário e de operacionalização de dispositivos de tratamento, controle de qualidade e manutenção. Apesar de sua importância (ANA, 2005; BONI, 2009; GONÇALVES, 2009; SANT'ANA, 2011; CBCS, 2014; RIBEIRO, 2015) e possuírem a vantagem de menor dependência de ocorrências de precipitações, optou-se por não considerar o seu emprego no desenvolvimento da presente pesquisa. Conforme mencionado anteriormente, não foram abordadas no presente trabalho as perdas de água, tanto nos sistemas de abastecimento (incluindo os vazamentos na rede de distribuição e as ligações clandestinas, sob a responsabilidade do prestador de serviços de saneamento) como os vazamentos que ocorrem no interior das edificações residenciais.

Não obstante a relevância das questões sociopolíticas relacionadas à educação ambiental, conforme mencionam Forgiarini *et al.* (2010) – redefinição do paradigma de sociedade, baseado na motivação, mobilização da opinião pública, conscientização e rediscussão do conceito de bem-estar-social –, tais aspectos também não foram desenvolvidos na pesquisa.

3.3.1 Aproveitamento de água de chuvas

A literatura apresenta diversos estudos nacionais e internacionais referentes aos sistemas de aproveitamento de água de chuva em diferentes tipos de edificações, abordando aspectos técnico-hidráulicos, como dimensionamento do reservatório inferior e quantificação de economia de água potável, além de análises de custo-benefício.

Ghisi *et al.* (2006) desenvolveram uma pesquisa em residências de 62 cidades no estado de Santa Catarina e apontaram um potencial médio de 69% de economia de água potável por meio da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, variando entre 34% e 92% de acordo com as demandas de água potável. Os autores indicaram ainda que a existência de programas governamentais poderia induzir significativa economia de água potável por meio da implantação dos referidos sistemas.

Ghisi *et al.* (2007a) avaliaram o potencial de economia de água potável substituindo-a por água de chuva, também para fins não potáveis, através de pesquisa em 195 cidades da região sudeste brasileira, obtendo um potencial médio de 41%. Neste estudo, o volume ideal dos

tanques de armazenamento de água de chuva variou de 2.000 a 20.000 litros, dependendo da demanda de água potável e o potencial médio de economia variou entre 12 e 79% por ano.

Os trabalhos desenvolvidos no âmbito do edital 5 do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) (GONÇALVES (2009) tiveram, como uma de suas vertentes, o estudo e proposição de sistemas para melhor aproveitamento de águas de chuvas como fonte alternativa de água com menor impacto ambiental, abordando também os componentes de instalações prediais. Foram analisados aspectos quantitativos e qualitativos relacionados às demandas, usos finais e padrões sanitários seguros.

Moruzzi *et al.* (2012) focaram o estudo de procedimentos para determinação do volume do reservatório para água de chuva em residências unifamiliares para fins não potáveis, em especial o Método do Máximo Aproveitamento (MMA), comparando-o com o Método da Análise da Simulação (MAS). Os resultados revelaram que o comportamento dinâmico descrito por ambos os métodos são semelhantes, exceto naqueles dias em que o volume armazenado é menor que a demanda, situação na qual os métodos divergem devido ao conceito envolvido em cada um deles. Constataram ainda que há possibilidade de aplicar o MMA e determinar o volume do reservatório em função do potencial de economia desejado, verificando o comportamento dinâmico do volume / nível.

Reiber (2012) realizou simulações do funcionamento, para o caso de Belo Horizonte, de sistemas de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, como irrigação, limpeza e descarga sanitária, em doze projetos-padrão residenciais unifamiliares e multifamiliares obtidos em ABNT (2006), quantificando os aspectos hidráulicos – eficiência quanto à redução do consumo de água potável – e de viabilidade financeira – análise custo-benefício. Verificou que, para a maior parte dos projetos-padrão, os benefícios financeiros são insatisfatórios, com exceção dos projetos multifamiliares de maior porte, que possuem maior área de coleta de água de chuva (telhado) e maiores demandas de água não potável. Dentre os quatro projetos que apresentaram viabilidade financeira, as simulações hidráulicas indicaram potencial de economia na ordem de 21% em relação ao total do consumo de água na edificação.

Ghisi *et al.* (2012) avaliaram a possibilidade de utilizar séries históricas mais curtas de precipitações ao invés de séries longas para avaliar o potencial de economia de água potável pelo aproveitamento de água de chuva em um município localizado no interior do estado de São Paulo, Brasil. Para tanto, estimaram o potencial de economia de água potável por meio de uma série histórica de 35 anos e de diferentes séries históricas mais curtas. Tais séries, as quais podem ter até 13 anos de registros de precipitações, foram consideradas adequadas,

dependendo da área de captação (cobertura), percentual de demanda de água de chuva e demanda de água potável. O principal aspecto desta pesquisa foi a verificação que, para casos específicos quanto às características da edificação e às demandas de água, séries curtas de precipitações podem apresentar resultados similares aos obtidos para séries longas de precipitações.

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva também podem ser instalados em outras tipologias de edificações e a implantação pode ser motivada por outros objetivos, além da redução do consumo de água potável. Murça *et al.* (2014), que estudaram a implantação do sistema em uma instalação aeroportuária militar no Rio de Janeiro, apresentaram uma proposta que otimiza o dimensionamento de reservatórios por meio de pesquisa operacional, minimizando o custo no ciclo de vida e maximizando a eficiência de atendimento. Tal processo visou a determinação do volume ótimo do reservatório, minimizando o valor presente da opção de aproveitamento de água da chuva. Concluiu-se que a metodologia proposta de dimensionamento reduziu em até 62% o valor presente quando comparado aos métodos descritos na NBR 15.527: 2007 (ABNT, 2007). Mencionam também a necessidade de incentivos governamentais para a implantação de projetos e para o aprimoramento de técnicas que tornem atraente o aspecto financeiro.

Dorneles (2012) desenvolveu um método de dimensionamento de reservatórios para água pluvial em edificações residenciais a fim de verificar os impactos nos sistemas de drenagem no município de Porto Alegre. Propôs uma metodologia de dimensionamento por meio de ábacos, criados a partir da técnica de Monte Carlo, em função da demanda estimada por água não potável. Os resultados da simulação apontaram para uma ineficácia na redução do pico de vazão, sendo observada apenas uma pequena redução no volume do hidrograma, nos casos de habitações padrão popular, com redução em torno de 6% para 75% de garantia de oferta de água para usos não potáveis, indicando que os volumes de espera não são suficientes para causar efeito no pico de vazão da rede pluvial.

Gomes (2012) e Gomes *et al.* (2014) trouxeram outro enfoque ao aproveitamento de água de chuva, analisando o Programa de Formação e Mobilização Social para Convivência com o Semiárido: um Milhão de Cisternas Rurais (P1MC), tendo como principal objetivo prover água para fins potáveis para famílias residentes na região semiárida brasileira. A pesquisa apresenta uma revisão do estado da arte, identificando os principais autores que pesquisam a captação de água de chuva no mundo e as pesquisas desenvolvidas no Brasil, apresentando uma agenda para discussão da temática no país. Apontaram pesquisas que avaliaram a

qualidade da água armazenada nas cisternas, as quais evidenciaram a presença de contaminação microbiológica da água e a dificuldade de adequação aos parâmetros de potabilidade estabelecidos no Brasil, pela portaria 518/2004 (BRASIL, 2004). Os autores observaram que, à luz do estado da arte nacional e internacional, há lacunas na produção científica brasileira sobre o tema, afirmando que o mesmo localiza-se no limiar entre o campo técnico, representado pelas intervenções em saneamento e diferentes áreas da engenharia e o campo das ciências sociais aplicadas e políticas públicas. O campo técnico aborda os desenhos físicos dos sistemas visando a determinação de melhores parâmetros, como o dimensionamento dos reservatórios e o desenvolvimento de tecnologias que reduzam os custos. Quanto às políticas públicas, além dos estudos voltados à compreensão da percepção das pessoas em relação à utilização de água de chuva, um dos importantes aspectos refere-se à análise de atores envolvidos e dos mecanismos de financiamento dos sistemas implantados – subsídios, incentivos financeiros, microcréditos. Destaca-se, nesse sentido, a necessidade de desenvolver modelos de incentivos financeiros à instalação de estruturas de captação de água de chuva em áreas urbanas.

Cardoso (2009) analisou a percepção de moradores do município de Belo Horizonte em relação ao aproveitamento de água de chuvas para fins não potáveis e a qualidade da mesma. A referida análise foi desenvolvida por métodos qualitativos e indicou que os entrevistados possuíam consciência ambiental e eram a favor da utilização de água de chuva para fins não potáveis, como limpeza geral e irrigação de plantas. Percebeu-se que incentivos financeiros por parte de algum órgão ou entidade seriam decisivos para que muitas pessoas residentes em áreas urbanas aproveitassem a água de chuva. Foram citados como causas possíveis da não utilização de água de chuva na área urbana: a falta de espaço, dinheiro e conhecimento.

Outros trabalhos nacionais também apresentaram propostas metodológicas abordando aspectos de aproveitamento hidráulico e análises de custo-benefício em edificações residenciais e em outras tipologias de uso, tais como: Gomes *et al.* (2010), Silva e Cohim (2007), Mierzwa, *et al.* (2007), Souza (2014).

No contexto internacional, Roebuck *et al.* (2011) avaliaram os aspectos financeiros referentes à implantação e manutenção de 3840 sistemas domésticos de aproveitamento de água de chuva no Reino Unido e concluíram que, em geral, os resultados não são benéficos do ponto de vista financeiro, comparando-se com o sistema convencional de abastecimento de água. Tal constatação fica mais acentuada nos casos de edificações unifamiliares (casas), onde os custos não são distribuídos entre diferentes usuários.

Domenech e Sauri (2011) analisaram a implementação, com base na vigência de políticas públicas específicas de regulação e incentivo, de sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares na região metropolitana de Barcelona. Apesar das baixas precipitações na região, por meio da aplicação do conceito *Water Saving Efficiency (WSE)*, ou “*eficiência de economia de água*” – que é o percentual de água potável substituída pela água de chuva em relação ao total de demanda de água –, concluíram que o uso do sistema para fins não potáveis pode contribuir significativamente na redução da demanda de água tratada. Apontam, como desvantagem do sistema, o longo *payback* apresentado, decorrente sobretudo dos custos de implantação do sistema em edificações unifamiliares (casas) e de manutenção, nos edifícios multifamiliares. Sob a ótica social, os autores analisaram também as percepções dos usuários, verificando o desconhecimento da população a respeito do sistema. Tais entraves, destacam os autores, podem ser minimizados por meio de adequadas políticas públicas, que incluam orientação, regulação e incentivo.

Fisher-Jeffes (2015) estudou, no contexto de *Cape Town*, África do Sul, a implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva coletada em telhados de edificações (*RWH – rainwater harvesting*), cujo uso destina-se à própria edificação e em áreas públicas, no sistema de drenagem pluvial (*SWH – stormwater harvesting*), incluindo pavimentos impermeáveis, onde a água destina-se a fins não potáveis por um ou mais usuários. Objetivou a análise da potencialidade dos dois tipos de sistemas, como alternativa de oferta complementar ao abastecimento convencional de água. Verificou que *RWH* foi viável financeiramente apenas para uma pequena parte das edificações, destacando as condições climáticas que impactam negativamente o desempenho dos sistemas. Por outro lado, *SWH* apresentou potencial de economia de água potável de aproximadamente 20%, ressaltando que tal nível seria possível no caso de adoção do sistema em larga escala.

O trabalhos mencionados – Roebuck *et al.* (2011), Domenech e Sauri (2011) e Fisher-Jeffes (2015) – reforçam a necessidade de desenvolvimento de análises de custo-benefício para a implementação dos referidos sistemas em larga escala, de modo a nortear mecanismos de incentivo financeiro.

Belmeziti *et al.* (2013) destacam o crescimento da prática de aproveitamento de água de chuva na França, onde cerca de 15% da população utiliza o recurso principalmente para fins não potáveis. Atribuíram a disseminação de tal prática a diferentes fatores: (i) nova base legal e regulatória datada de 2008; (ii) mecanismos de incentivo desenvolvidos pelo poder público;

(iii) crescimento de "consciência verde" da sociedade. O trabalho propôs uma metodologia onde foi estabelecido um "edifício virtual", que engloba diversos edifícios (similares entre si), agregando toda a oferta de água para edificações semelhantes, adicionando-se as áreas de todos os telhados de uma dada tipologia de edifícios, ao mesmo tempo, considerando-se as demandas individuais desses edifícios. O estudo foi aplicado à localidade de Colombes, próximo a Paris, com 85.400 habitantes e 7,8 km² de extensão territorial, gerando aproximadamente 335.000 m³/ano de água produzida no sistema de aproveitamento, equivalente a cerca de 5,3% do consumo total de água potável no local.

Com o emprego do mesmo método, Belmeziti et al. (2014) desenvolveram análises na região metropolitana de Paris, apontando o potencial de economia de até 11% de água potável através do uso de água de chuva. Estimaram, igualmente, que as edificações residenciais são responsáveis por até 2/3 deste potencial.

A Austrália é um dos países com maior número de sistemas de aproveitamento de água de chuva para fins domésticos, devido ao fato de apresentar problemas quanto aos mananciais de água, principalmente os subterrâneos e padrões de chuvas que, não obstante os períodos secos, podem favorecer a implantação de tais dispositivos (GARDNER *et al.*, 2015). Segundo os autores, além de tratar-se da principal fonte de água em áreas rurais e que não possuem sistema de distribuição, cerca de 34% das casas, em meio urbano, possuíam sistema de aproveitamento em 2013.

Cook *et al.* (2015) também destacam a experiência australiana quanto ao aproveitamento de água de chuva, em especial para o uso domiciliar, bem como as razões pelas quais os proprietários das residências investem na implantação dos sistemas. Conforme ABS (2013), citado por Cook *et al.* (2015), cerca de 38% da população onde a pesquisa foi desenvolvida informou que a principal razão pela qual os sistemas são implantados é a economia de água, seguido por aproximadamente 32% da população, que indicou a inexistência de rede de abastecimento como razão principal, seguido por 20% da população, que apontou a economia financeira decorrente da água que foi aproveitada no sistema como justificativa.

Thomas *et al.* (2014) realizaram pesquisa sobre as práticas de aproveitamento de água de chuva nos Estados Unidos, bem como quanto às motivações e objetivos dos usuários que implantaram o sistema, constatando que o principal uso é o não potável, especificamente para a irrigação de áreas verdes. Entretanto, verificaram que 25% dos entrevistados utilizavam água de chuva para fins potáveis, aplicando radiação ultravioleta na desinfecção de água, enquanto 70% não realizam testes de qualidade da água. Ainda para o caso dos Estados

Unidos, Mendez *et al.* (2011) destacaram que a maior parte dos sistemas está instalado em áreas que apresentam falhas no fornecimento de água, fato que compromete a qualidade da mesma. Constatam também que há maior disseminação do uso em locais onde os moradores possuem maior consciência ambiental.

Destacam-se ainda outros trabalhos internacionais, como os desenvolvidos para a *European Union Directive* (PALLA *et al.*, 2011), no Canadá (FARAHBAKHSI *et al.*, 2009 e BAIRD *et al.*, 2013), Alemanha (HERMANN e SCHMIDA, 1999; SCHUETZE, 2013), Reino Unido (DEFRA, 2008; WARD, 2010), China (LI *et al.*, 2004) e Irlanda (LI *et al.*, 2010).

3.3.1.1 Aspectos legais referentes ao aproveitamento de água de chuva

Observou-se que, na legislação brasileira, não há um ordenamento jurídico que discipline especificamente o tema referente ao aproveitamento de águas pluviais (VELOSO e MENDES, 2013). Cita-se a Lei n. 11.445/2007 – Lei do Saneamento Básico – a qual define a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas como o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais, drenadas e nas áreas urbanas. (BRASIL, 2007).

Veloso e Mendes (2013) realizaram um levantamento das principais diretrizes legais vigentes e em tramitação nos órgãos legislativos nos âmbitos federal, estadual e municipal. Foi observada, de forma geral, a prática protelatória quanto à aprovação e implementação de leis referentes ao tema, diferentemente do que ocorre internacionalmente como, por exemplo, na Alemanha, onde a legislação já prevê o uso de água de chuva para fins potáveis, considerando também parâmetros normativos de instalações e qualidade da água (GNADLINGER, 2005, apud VELOSO e MENDES, 2013).

O arcabouço legal vigente ou em trâmite na esfera legislativa contém diretrizes que abordam o aproveitamento de água de chuva objetivando a economia de água potável e a redução de impactos relacionados às inundações em áreas urbanas. A Tabela 3.4 apresenta alguns dispositivos legais em trâmite no âmbito do poder legislativo federal e vigentes nos âmbitos municipal e estadual, sobretudo nas regiões sul e sudeste. Nessas regiões são verificadas leis e normas, principalmente vinculadas a códigos de obras e diretrizes normativas para edificações – residenciais, comerciais, industriais, públicas – a serem construídas. Não foram constatadas leis que tornem compulsória a adequação de edificações existentes.

Tabela 3.4 – Quadro de leis e decretos nacionais – federais e municipais

| ÂMBITO FEDERAL e ESTADUAL | | |
|---|--|---|
| (Projetos de Leis – PL – acerca do aproveitamento da água de chuva em tramitação nos órgãos legislativos federais e estaduais, atualizadas em 05/06/2016) (adaptado de VELOSO e MENDES, 2013) | | |
| Projeto de Lei | Título / Ementa | Situação (trâmite do processo) |
| PL 326/2015 | Inclui, entre os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9433/1997) o incentivo e a promoção da captação, preservação e aproveitamento de águas pluviais. | Aguardando Deliberação na Comissão de Meio Ambiente Desenvolvimento Sustentável (CMADS) |
| PL 324/2015 | Institui obrigatoriedade para as novas construções, residenciais, comerciais, e industriais, público ou privado, a inclusão no projeto técnico da obra, item referente a captação de água da chuva e seu reuso não potável e dá outras providências. | |
| PL 7818/2014 | Estabelece a Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua promoção. | |
| PL 4109/2012 | Institui o Programa Nacional de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas | |
| PL 191/2013 | Dispõe sobre a obrigatoriedade da instalação de sistemas de aproveitamento de água da chuva na construção de prédios públicos bem como sobre a utilização de telhados ambientalmente corretos. | |
| PL 2457/2011 | Altera a Lei n. 10257/2001 (Estatuto das Cidades) e a Lei n. 4380/1964, que dispõe sobre o Sistema Financeiro da Habitação, para instituir mecanismos de estímulo à instalação de sistemas de coleta, armazenamento e utilização de águas pluviais em edificações públicas e privadas. | Aguardando relatório da Comissão de Finanças e Tributação |
| PL 1310/2011 | Dispõe sobre a Política Nacional de Gestão e manejo Integrado de Águas Urbanas e dá outras providências | Tramitando em Conjunto (Câmara Federal de Deputados) |
| PL 682/2011 | Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos em lotes, edificados ou não, nas condições que menciona, e dá outras providências | |
| PL 242/2011 | Dispõe sobre a utilização de energia solar e reaproveitamento de água de chuva na construção de habitações populares | |
| PL 6250/2009 | Dispõe sobre a utilização de energia solar e reaproveitamento da água da chuva na construção de habitações populares | |
| PL 2565/2007 | Dispõe sobre a instalação de dispositivos para captação de águas de chuvas em imóveis residenciais e comerciais | |
| PL 1069/2007 | Dispõe sobre a contenção de águas de chuvas nas áreas urbanas | |
| PL 3322/2004 | Dispõe sobre a obrigatoriedade de reservatórios ou cisternas para o acúmulo de água de chuva no território brasileiro | |
| PL 2750/2003 | Estabelece o uso eficiente das águas e dá outras providências | |

| |
|---|
| ÂMBITO ESTADUAL |
| Estado do Ceará: Lei n. 16.033 de 22/06/2016 – Dispõe sobre a política de reúso de água não potável no âmbito do Estado do Ceará Fonte: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=325190 |
| Estado da Bahia: Lei 13.581 DE 14 DE SETEMBRO DE 2016 - Dispõe sobre a instalação de um sistema de reaproveitamento da água da chuva nas unidades habitacionais construídas pelo Governo do Estado da Bahia. Fonte: http://leisestaduais.com.br/ba/lei-ordinaria-n-13581-2016-bahia-dispoe-sobre-a-instalacao-de-um-sistema-de-reaproveitamento-da-agua-da-chuva-nas-unidades-habitacionais-construidas-pelo-governo-do-estado-da-bahia-na-forma-que-indica |
| ÂMBITO MUNICIPAL ⁽¹⁾: |
| Município de Belo Horizonte – MG: Projeto de Lei n. 1.381/2014 Estabelece a Política Municipal de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua promoção (mas não define critérios e diretrizes específicas quanto à implantação do sistema) |
| Município de Curitiba – PR: Decreto 293/2006 (regulamenta a Lei 10.785/03) Instituiu o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações (PURA), com medidas visando à conservação da água através do uso racional e de fontes alternativas de abastecimento nas novas edificações. A Lei municipal tornou obrigatória a captação das águas pluviais nas coberturas das novas edificações. Fonte: https://www.leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/decreto/2006/29/293/decreto-n-293-2006-regulamenta-a-lei-n-10785-03-e-dispoe-sobre-os-criterios-do-uso-e-conservacao-racional-da-agua-nas-edificacoes-e-da-outras-providencias-2006-03-22.html |
| Município de Guarulhos – SP: Lei nº 325/2007, institui o Programa Municipal de Uso racional da Água Potável e dá outras providências Lei nº 5.617/2000 (Código de Obras):. Dispõe sobre a obrigatoriedade de construção de reservatórios de detenção ou retenção das águas pluviais nos lotes urbanos, edificados existentes ou no licenciamento da obra. |
| Prefeitura Municipal de São Paulo – SP: Lei nº 13.276/2002 e Lei nº 14.018/2005, institui o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água, com o intuito de utilizar fontes alternativas para a captação de água e reúso nas novas edificações Fonte: http://www.leispaulistanas.com.br/reservatorios-de-agua/lei-no-13276-de-4-de-janeiro-de-2002 |
| Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro – RJ: Decreto Municipal Nº 23.940/04, criada com base na necessidade de ajudar a prevenir inundações por meio da retenção temporária de águas pluviais em reservatórios especialmente criados com essa finalidade e nas possibilidades de reaproveitamento de águas pluviais. Fonte: http://cm-rio-de-janeiro.jusbrasil.com.br/legislacao/917561/decreto-23940-04 |
| Prefeitura Municipal de Curitiba – PR: Lei nº 10485/2003. Programa de Conservação e uso Racional da Água nas Edificações |
| Prefeitura Municipal de Foz do Iguaçu – RS: Lei nº 24/2008, que dispõe sobre a obrigatoriedade de reservatórios e captadores de água da chuva nos postos de combustíveis e estabelecimentos de lavagem de veículos e dá outras providências. |

(1) As legislações estão disponíveis nos respectivos links, os quais foram acessados em 26/09/2015

3.3.1.2 Métodos de dimensionamento

Uma referência normativa importante é a NBR 15.527/2007 (ABNT, 2007) que menciona alguns métodos para dimensionamento de reservatórios, normalmente empíricos: Método de Azevedo Neto, Métodos Práticos – Alemão, Inglês e Australiano, Rippl e da Simulação. Além dos métodos descritos, destacam-se ainda o Modelo Comportamental e o programa computacional Netuno (Ghisi e Cordova, 2014) os quais foram adotados no desenvolvimento das simulações desta pesquisa e encontram-se detalhados no capítulo 5 do presente trabalho, que trata da metodologia de pesquisa dos estudos aqui conduzidos.

a. Métodos empíricos (Azevedo Neto, Métodos Práticos Alemão, Inglês e Australiano):

São citados em ABNT (2007) e, geralmente, consideram a precipitação média anual e os meses secos, utilizando o balanço de massa. Apesar de relativa facilidade de aplicação, normalmente, resultam em reservatórios com volumes superestimados e cujas dimensões podem ser inviáveis, sob o ponto de vista financeiro e considerando os espaços disponíveis em lotes residenciais urbanos, conforme indicado por Mierzwa *et al.* (2007) e Tomaz (2011b).

b. Método de Rippl:

Baseado no princípio de balanço de massa para séries históricas e período crítico, o método fornece o valor extremo do volume do reservatório que regulariza a vazão, atendendo totalmente a demanda, sendo, normalmente, antieconômico (TOMAZ, 2011b). O método é empregado segundo as seguintes etapas: (i) Levantamento de precipitações diárias ou mensais e das demandas; (ii) Cálculo do volume de água de chuva gerado na chuva na superfície de captação; (iii) Cálculo da diferença entre os volumes da demanda e geração de água de chuva, podendo ser positivo ou negativo. A diferença acumulada dos valores positivos é o volume do reservatório que regularizará a demanda em função da disponibilidade. Cohim *et al.* (2008) realizaram uma aplicação deste método, aplicando-o ao uso residencial, verificando elevados volumes de reservatório, principalmente em localidades com grandes estiagens, visto que o método destina-se ao atendimento das demandas em períodos sem chuvas.

c. Método de Simulação:

Os registros de precipitação são utilizados para simular o comportamento do volume de água no reservatório (balanço de massa). A simulação, baseada na Equação 3.3 (ABNT, 2007), inicia com o reservatório cheio, representado por 0 (zero) e apenas os déficits (valores negativos) são mantidos. O volume do reservatório será definido como o maior déficit obtido

com a série de dados de chuva e o método permite a verificação da eficiência do sistema e atendimento à demanda o (DORNELLES, 2010; COHIM *et al.*, 2008) ; TOMAZ, 2011b).

$$S_{i+1} = S_i + A \times P_i - D_i \quad (\text{Equação 3.3})$$

se: $S_{i+1} > 0$ então $S_{i+1} = 0$, onde: S = volume de água no reservatório (L); P = precipitação diária (mm); A = área de coleta de água de chuva (m^2); D = demanda (L/dia).

Caso, durante a simulação, os valores positivos de S forem registrados em uma série em paralelo, é possível obter o volume de água diretamente descartado pelo extravasor do reservatório. Dessa forma é possível conhecer a eficiência do aproveitamento em relação aos desperdícios que o sistema terá (DORNELLES, 2012).

d. Método de Monte Carlo:

É um método que possui diversas aplicações, sendo que, na Hidrologia, é frequentemente utilizado para dimensionamento de reservatórios (DORNELLES, 2012). Baseia-se na geração e simulação de variáveis aleatórias para a obtenção de uma solução numérica para o volume do reservatório (V_a) e probabilidade de ocorrência (P_a) (TOMAZ, 2011b).

e. Método de dimensionamento com critério de índice de desempenho:

Dorneles (2012) propôs uma metodologia de dimensionamento de reservatórios de água de chuva por meio de ábacos, elaborados a partir da técnica de Monte Carlo para séries sintéticas usadas na simulação de balanço de massa para obtenção de índices de desempenho em função do volume e da demanda estimada de água não potável em domicílio de padrão popular e de classe alta. Produziu ábacos para todas as capitais brasileiras, como forma de verificação da sua aplicabilidade para os diversos regimes pluviométricos existentes no país, com foco na redução do impacto sobre os sistemas públicos de drenagem de águas pluviais.

f. Método do Máximo Aproveitamento (MMA):

Abordado por Mierzwa *et al.* (2007), o método possui conceito oposto ao dos métodos tradicionais, como o de Rippl, cujo princípio é a regularização da vazão e que implica em um total atendimento da demanda ao longo do período, podendo ser inviáveis sob a ótica financeira. Um reservatório dimensionado por este método apresenta um determinado potencial de economia, ou seja, uma porcentagem de atendimento da demanda.

3.3.2 Aparelhos hidráulico-sanitários economizadores

Um dispositivo tecnológico que possibilita a redução de consumo residencial total de água e, conseqüentemente, a geração de efluentes, é o uso de aparelhos hidráulico-sanitários economizadores devido à maior eficiência no uso da água, podendo ser de diversos tipos, tais como (ANA, 2005; RODRIGUES, 2005; GONÇALVES, 2009; GUEDES *et al.*, 2014):

- Bacia sanitária de caixa acoplada com volume reduzido ou com válvula de acionamento seletivo (dual-flush, com 6 litros/acionamento, para arraste de dejetos sólidos e 3 litros/acionamento, para arraste de dejetos líquidos. Ressalta-se que as características geométricas e dimensionais da bacia sanitária exercem importante função na quantidade de água a ser descarregada pelo aparelho, definindo assim o volume de descarga necessário;
- Torneira para banheiro ou cozinha, com *arejador* (dispositivo, fixado na saída da torneira, que reduz a seção de passagem da água e possui orifícios na superfície lateral, para entrada de ar durante o escoamento da água, dando ao usuário a sensação de uma vazão maior);
- Torneira com *sensor de presença* (que capta a presença das mãos do usuário perto da torneira, liberando o fluxo de água até o momento em que as mãos são afastadas do sensor) e *de fechamento automático* (que permite o fluxo de água por um período de tempo programado pelo usuário ou predeterminado pelo fabricante).

A instalação dos aparelhos descritos pode gerar economia de água potável, variando de acordo com os hábitos dos usuários – frequência e tempo de uso –, bem como das características construtivas do edifício, em especial, quanto às vazões dinâmicas previstas nas tubulações e pontos de consumo, conforme projetos técnicos hidráulicos.

Assim, torna-se indispensável o levantamento de parâmetros de redução do consumo total de água a partir o uso de aparelhos hidráulicos economizadores.

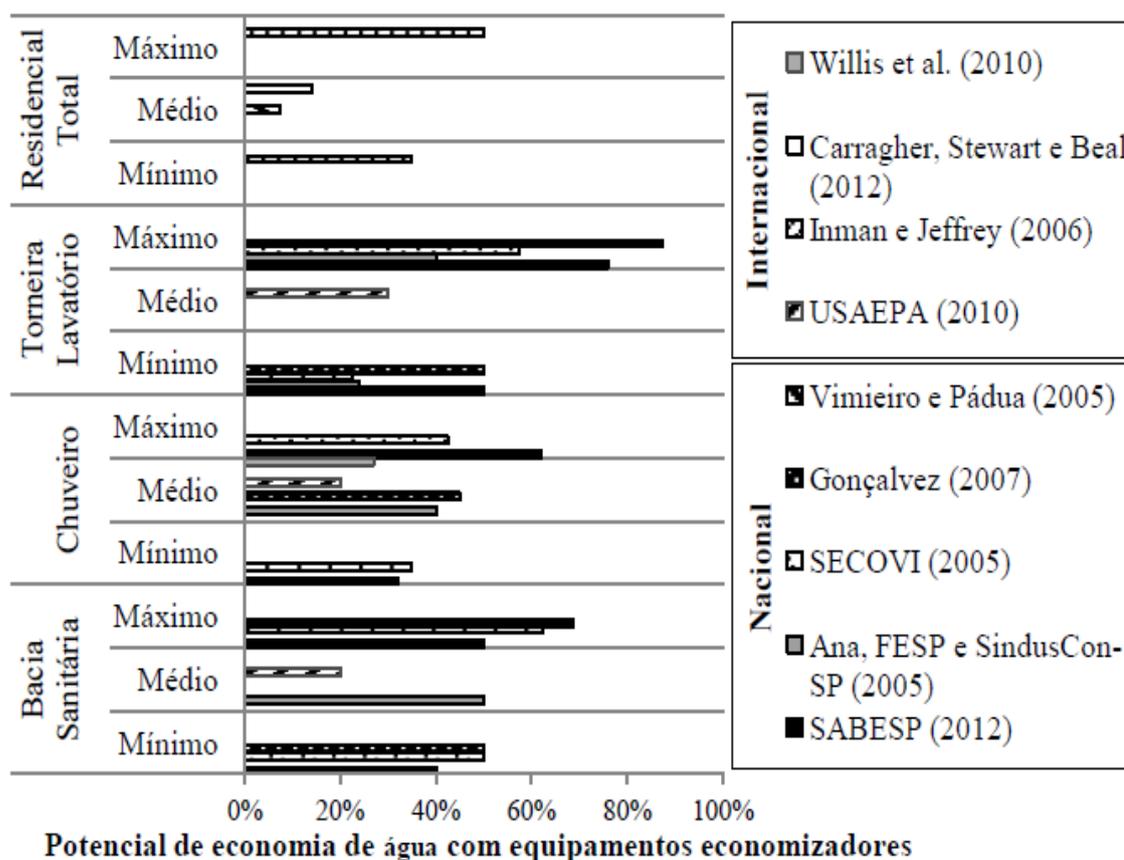
Foi desenvolvida na Austrália uma pesquisa comparando-se o desempenho hidráulico e o potencial de economia de água por meio da substituição de aparelhos convencionais por aparelhos economizadores em residências, obtendo-se redução total em torno de 14% (CARRAGHER, 2012).

A American Water Works Association Research Foundation (AWWARF) realizou, em 1998, um levantamento em 12 cidades nos Estados Unidos, comparando os consumos internos em 1.188 casas com e sem aparelhos economizadores (TOMAZ, 2011a), alcançando-se até 30% de economia de água.

Destacam-se outros trabalhos internacionais, como os de Mayer *et al.* (2001) e DeOreo e Mayer (2012), que levantaram, ao longo de 16 anos, as reduções nos patamares de consumo residencial interno e externo de água ao longo de 16 anos. A utilização de tecnologias de controle de vazão e aparelhos economizadores foram algumas das principais medidas que proporcionaram a redução da demanda de água nos domicílios estudados. Além deste, Friedman *et al.* (2011) destacaram, no contexto de uma abrangente pesquisa relativa à gestão de demanda de água conduzida na Flórida, EUA, os benefícios decorrentes da substituição de aparelhos hidráulicos convencionais por dispositivos mais eficientes.

Estão sintetizados na Figura 3.3, de acordo com Vieira (2012), diversos levantamentos com os potenciais de economia de água que podem ser obtidos com o uso de equipamentos economizadores, ressalvando-se que os estudos apresentados foram realizados em diferentes países, regiões e tipos de edificações e, por isso, os resultados são diferentes entre si.

Figura 3.4 – Potencial de economia de água por meio do uso de equipamentos economizadores



Fonte: Vieira (2012)

Guedes *et al.* (2014), em um estudo que apresentaram cenários de simulação referentes à adoção de medidas tecnológicas de gestão da demanda urbana de água em Campina Grande, PB, objetivando fornecer subsídios para a elaboração de programa de uso racional da água

para consumidores residenciais. Um dos aspectos analisados foi a implantação de aparelhos economizadores, tais como: torneira com sensor de presença, com fechamento automático, com arejador e bacia sanitária com caixa acoplada e com duplo acionamento (*dual flush*), gerando um índice de redução do consumo de água que variou entre 20% e 50%, conforme o tipo de aparelho utilizado.

As Tabelas 3.5 e 3.6 apresentam, respectivamente a distribuição do consumo de água por pontos de consumo e os parâmetros de redução de consumo de água para dispositivos economizadores em relação aos aparelhos convencionais.

Tabela 3.5 – Distribuição do consumo domiciliar de água por pontos de consumo

| PROSAB 5 ⁽¹⁾ | |
|---------------------------|------------------|
| Aparelho | Distribuição (%) |
| Vaso sanitário | 21 |
| Chuveiro e lavatório | 29 |
| Tanque e máquina de lavar | 35 |
| Cozinha | 15 |

Fonte: Gonçalves (2009)

Tabela 3.6 – Parâmetros de redução do consumo de água para aparelhos economizadores

| Aparelho | Redução do consumo (%) | Referência |
|--|-----------------------------------|----------------------------------|
| Torneira com arejador | 50% | Tomaz (2011a), Guedes (2014) |
| Torneira com sensor de presença | 40% | Guedes (2014) |
| | 57,5% | SECOVI (2005) |
| Torneira com fechamento automático | 20% | Guedes (2014) |
| | 47,5% | SECOVI (2005) |
| Chuveiro com arejador | 20% | Tomaz (2011a), Guedes (2014) |
| Chuveiro com dispositivo regulador de vazão | 45% | Gonçalves (2007) |
| | 35% | SECOVI (2005) |
| Chuveiro com fechamento automático | 32 a 62% | Guedes (2014) |
| | 42,5% | SECOVI (2005) |
| Caixa acoplada de duplo acionamento (dual-flush): 3 ou 6 litros/descarga) | 50 a 75% | Guedes (2014) |
| | 68,8% | Gonçalves (2007) |
| | 62,5% | SECOVI (2005) |
| Caixa acoplada com descarga reduzida | 50 a 75% | Tomaz (2011a) |
| Caixa acoplada com descarga reduzida | 50% (volume de descarga reduzida) | SECOVI (2005) e Gonçalves (2007) |

Fonte: Gonçalves (2009), Kalbusch (2011) e Tomaz (2011a)

Ywashima (2005), através de uma investigação de campo realizada objetivando a formulação de um modelo de avaliação econômica dos investimentos necessários para implementação de tecnologias economizadoras de água em pontos de consumo, substituindo-se bacias sanitárias e aparelhos hidráulicos (torneiras, válvulas e registros) em escolas públicas, verificou uma redução de cerca de 30% no consumo de água e um *payback* de, no máximo, 12 meses.

Vimieiro e Pádua (2005) verificou que o uso de equipamentos hidráulicos especiais – torneira com fechamento automático, regulador de vazão para torneira e caixa acoplada de descarga – possibilitou uma economia no consumo de água na ordem de 7,5% em habitações de interesse social por meio de uma pesquisa conduzida em Belo Horizonte, MG.

3.3.3 Medição individualizada

Denomina-se medição individualizada⁴ a setorização do consumo de água com a instalação de pelo menos um hidrômetro em cada unidade habitacional, de forma que seja possível medir o volume de água consumido pela unidade (ILHA, *et al.*, 2010). Um modelo muito difundido de medição do consumo de água em edifícios residenciais no Brasil é o sistema de medição centralizada, onde um único hidrômetro mede o consumo total de água e a tarifa a ser paga normalmente é rateada por igual a todos os apartamentos, salvo em algumas situações, onde há ponderações em função da área privativa. Contudo, a prática de cada unidade pagar pelo consumo médio dos apartamentos e não pela quantidade de água que consumiu gera distorções, pois desconsidera o número de pessoas que residem no apartamento, sendo este um dos principais aspectos relacionados ao consumo de água residencial.

Coelho e Maynard (1999), citados por Guedes *et al.* (2014) e Coelho (2004), citado por Marques e Silva (2007), orientam que, com a medição individualizada, a conta de água e esgoto é estabelecida com base no consumo real de cada unidade residencial, somado ao volume rateado do consumo comum do condomínio, sendo este último obtido pela diferença entre o volume registrado no medidor principal e o somatório dos volumes registrados nos hidrômetros individuais. Orientam ainda que os custos de implantação da medição individualizada são variáveis e dependem, dentre outros aspectos, do número de prumadas de água, da tecnologia adotada para leitura dos dados de consumo, do padrão do apartamento (acabamento) e da altura do prédio (avaliação das pressões).

⁴ No presente trabalho adotou-se a nomenclatura “medição individualizada”, pois é o termo mais utilizado na literatura, não obstante ser designado, no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (BRASIL, 2014), como “hidrometração individualizada”.

Genericamente, há duas possibilidades de instalação de sistemas de medição individualizada, ressaltando-se a necessidade do adequado dimensionamento dos sistemas, em função das características construtivas e instalações hidráulicas dos edifícios: (i) Instalação de um hidrômetro para cada apartamento, cuja leitura ficará sob a responsabilidade da concessionária de água e esgoto. Neste caso, devem ser observadas as diretrizes normativas das concessionárias quanto ao dimensionamento – vazão e pressão – e localização dos hidrômetros; (ii) Instalação de um hidrômetro central no edifício, cuja leitura é realizada pela concessionária de água e esgoto. No sistema indireto de abastecimento predial, junto ao barrilete principal (abaixo do reservatório superior) ou junto à circulação comum de acesso aos apartamentos, são instalados hidrômetros ligados a cada apartamento, cujas leituras são de responsabilidade do condomínio. Assim, haverá apenas uma fatura para o edifício, com o valor total da tarifa e, a partir das leituras individualizadas de cada hidrômetro, são registrados os consumos de cada apartamento, permitindo a ponderação do valor, de acordo com o consumo real de cada unidade.

Um importante aspecto do sistema é o dimensionamento de hidrômetros individualizados em sistemas com medição coletiva, que normalmente é feito pelas concessionárias de água, prática que acarreta um certo desconhecimento, por parte dos projetistas, quanto aos diferentes aspectos envolvidos nos cálculos (ILHA *et al.*, 2010). Os mesmos autores, em concordância com Silva (2008), argumentam que o dimensionamento inadequado dos medidores pode resultar na submedição do consumo, situação que ocorre quando as vazões no ramal de alimentação são, em sua maioria, inferiores à vazão mínima dos hidrômetros e, portanto, não detectadas. Tal situação é frequente em sistemas indiretos de abastecimento de edificações, nos quais o controle do abastecimento de água para o reservatório é efetuado por dispositivos com boia, podendo ocorrer a não detecção das baixas vazões.

Yamada *et al.* (2001) argumentaram que uma configuração mais lógica é a medição do consumo de água para cada apartamento, como acontece com as taxas de energia elétrica, gás, dentre outros. Relatam também que foi verificada na região de Guarulhos uma grande despreocupação e desconhecimento por parte da população que reside em habitações com medição coletiva frente às ações de economia e racionalização da utilização da água.

Segundo Coelho e Maynard (1999), citados por Guedes *et al.* (2014), a adoção de medição individualizada em condomínios verticais na cidade do Recife, PE, propiciou uma redução média de 30% no consumo de água, destacando alguns casos de redução de até 50%.

Souza Filho *et al.* (2006) avaliaram quantitativa e qualitativamente a redução do consumo em edifícios antigos adaptados para medição individualizada no estado de Pernambuco. A partir da análise do histórico de consumo antes e depois da individualização, verificaram resultados de economia na ordem de 36%, considerando-os satisfatórios. Indicaram também que a falta de dados, omissão das concessionárias e o desconhecimento da população são as principais causas da não implantação do sistema.

Oliveira e Peres (2009) estudaram, no município de Goiânia, capital do Estado de Goiás, durante 12 meses, o impacto da medição individualizada e aproveitamento de água da chuva, comparando o consumo de água de três condomínios de edifícios residenciais com portes semelhantes entre si, 72 apartamentos em cada e padrão socioeconômico alto. Os principais resultados estão descritos na Tabela 3.7. Ressalta-se que o condomínio 1 possui uma piscina de uso coletivo e, por tal motivo, o consumo por apartamento foi semelhante ao do condomínio 2.

Tabela 3.7 – Consumo de condomínios residenciais em Goiânia, GO

| Condomínio ⁽¹⁾ | Possui medição individualizada | Possui sistema de aproveitamento de água de chuva | Consumo médio de água | |
|---------------------------|--------------------------------|---|------------------------------------|-----------------------------------|
| | | | m ³ / apartamento x mês | litros / hab x dia ⁽²⁾ |
| 1 | Sim | Sim | 15,0 | 167,0 |
| 2 | Sim | Não | 15,2 | 169,0 |
| 3 | Não | Não | 23,0 | 256,0 |

Fonte: Oliveira e Peres (2009)

(1) O condomínio 1 possui piscina. Os condomínios 2 e 3 não possuem piscina

(2) Consumo calculado para 3 pessoas por apartamento e 30 dias por mês

Observa-se que o consumo total de água no condomínio 2 (com medição individualizada) é 34% inferior ao do condomínio 3 (sem medição individualizada), impactando também, em percentual semelhante, a tarifa de água a ser paga por cada apartamento. O estudo destaca também que cerca de 53% dos apartamentos dos condomínios com medição individualizada apresentam consumo mínimo de água (valor abaixo de 10 m³) conforme estrutura tarifária da Saneamento de Goiás S.A. (SANEAGO).

Não obstante a relativa escassez de estudos sobre o tema (SILVA, 2008), destacam-se outros trabalhos desenvolvidos em âmbito nacional e internacional, que avaliam os aspectos hidráulicos e financeiros referentes à gestão da demanda de água no âmbito domiciliar, objetivando a avaliação do impacto da medição individualizada de água em edifícios residenciais. Tais pesquisas apresentam resultados de economia variando na ordem de 20 a

35%, salientando-se as conseqüentes reduções nas tarifas de água (DANTAS, 2003; ILHA *et al.*, 2010; SILVA e COHIM, 2007; MARQUES e SILVA, 2007; BARRAQUÉ, 2011). É importante notar que os referidos trabalhos, em âmbito nacional e internacional, abordam a redução no consumo de água devido à individualização da medição, relacionando-o não somente à elasticidade entre renda - consumo, mas também à tarifa da água (preço) - consumo, conforme conceituado por Thompson *et al.* (1995).

Importante destacar que, recentemente, foi sancionada a Lei Federal n. 13.312/2016 (BRASIL, 2016), que traz alterações à Lei n. 11.445/2007 (BRASIL, 2007), referente às diretrizes nacionais para o saneamento básico, tornando obrigatória a implantação de sistemas de medição individualizada do consumo de água nas novas edificações condominiais. A referida lei é uma importante diretriz, pois torna compulsória, por parte de empresas construtoras e condomínios, as providências referentes à instalação do hidrômetros individualizados em edifícios residenciais a serem construídos.

3.4 Aspectos econômicos e de avaliação de políticas públicas

O presente item objetiva descrever, de forma geral, aspectos relevantes quanto às teorias econômicas, notadamente a convencional e a ecológica, os quais tornam-se importantes com vistas ao estabelecimento das relações entre o desenvolvimento econômico e a abordagem ambiental, aplicando-a às questões de recursos hídricos. São apresentados também outros conceitos para o presente estudo, tais como: renda, consumo, demanda, elasticidade-preço, elasticidade-renda e elasticidade-demanda, além da diferença entre análises de projetos sob as óticas econômica e financeira. Aborda, ainda, aspectos referentes à avaliação de políticas públicas, relacionando-os à presente pesquisa.

3.4.1 Aspectos relacionados às teorias econômicas convencional e ecológica

Uma das conseqüências do desenvolvimento econômico é a aceleração da expansão urbana e crescimento demográfico, podendo acarretar a degradação de mananciais de recursos hídricos, devido ao aumento da demanda de água, diante de uma oferta inelástica e a conseqüente escassez do recurso (BARROS e AMIN, 2009). Entende-se, nesse caso, que a oferta inelástica está relacionada a produtos cuja oferta é pouco sensível a alterações na renda e preço.

Estão descritos a seguir alguns aspectos importantes a respeito das diferentes correntes da teoria econômica com aplicação à temática ambiental. Os aspectos mencionados foram relacionados à relativa escassez hídrica, bem como aos impactos decorrentes do

desenvolvimento econômico sobre os mesmos, sobretudo nos grandes centros urbanos. Segundo Martinez-Alier (2008), fazendo alusão aos trabalhos de Frederick Soddy, publicados em 1926, a economia deve ser compreendida em três níveis:

- (i) Economia financeira: se expressa nas operações de débito e crédito, público e privado, cujo motor é a expectativa de ganhos futuros;
- (ii) Economia real: é a base produtiva propriamente dita, apoiada nas operações de compra e venda de bens e serviços (reais);
- (iii) Economia meta-real (capital natural): onde ocorrem os fluxos de matéria e energia que dependem, em parte, de fatores econômicos e dos limites físicos, tanto de disponibilidade de recursos naturais e ambientais como da capacidade de absorção dos dejetos resultantes do processo produtivo.

Para a teoria econômica convencional, os fatores básicos de produção são o capital produzido pelo ser humano, o trabalho e os recursos naturais. Segundo Enriquez (2008), a função neoclássica de produção passou a desconsiderar os recursos naturais em suas análises, tendo em vista os pressupostos: a natureza é inesgotável, oferece seus serviços ecossistêmicos gratuitamente e que não é possível acessar os recursos naturais sem trabalho e capital.

Cavalcanti (2010) argumenta que o modelo econômico típico não contempla a moldura ou restrições ambientais, cuidando tão somente de focalizar os fluxos e variáveis do domínio econômico. Desconsidera, assim, as conexões que possam existir entre o sistema ecológico e as atividades de produzir e consumir que representam o cerne de qualquer sistema econômico. Assim, a conceituação econômica convencional considera que os impactos ambientais são tratados como fenômenos externos ao sistema econômico, vistos como falhas de mercado, cujas externalidades poderiam, com métodos adequados, ser internalizados no sistema de preços. O ecossistema é percebido como um almoxarifado de produtos e serviços, que permite a obtenção de preços corretos para a alocação ótima de recursos. A motivação central passa a ser a internalização dos custos ambientais e a obtenção de preços que reflitam custos de oportunidade marginais completos.

Uma das questões básicas da escola neoclássica, de acordo com Barros e Amim (2009), é que a crescente incorporação de tecnologia aos processos produtivos suplantaria o problema da escassez, dando a entender que os fatores produtivos que determinam o padrão de crescimento econômico limitam-se ao capital, trabalho e a tecnologia. Em outras palavras, conforme Daly (1991), nessa linha de pensamento, os recursos são uma forma de capital que abrange os

estoques de matérias-primas e de produtos acabados, existindo dois grandes tipos de capital – natural e artificial –, e que o segundo é um bom substituto do primeiro. Essa abordagem, denominada *sustentabilidade fraca*, é questionada por Daly (1991) e Nascimento e Heller (2005), os quais, conforme já comentado, argumentam que é impossível a substituição dos recursos hídricos por outro capital artificial. Assim, em contrapartida, é apontada a abordagem de *sustentabilidade forte*, na qual acredita-se que o capital natural e artificial são, frequentemente, mais complementos do que substitutos, e que o natural deveria ser mantido separado, pois tornou-se fator limitante (DALY, 1991).

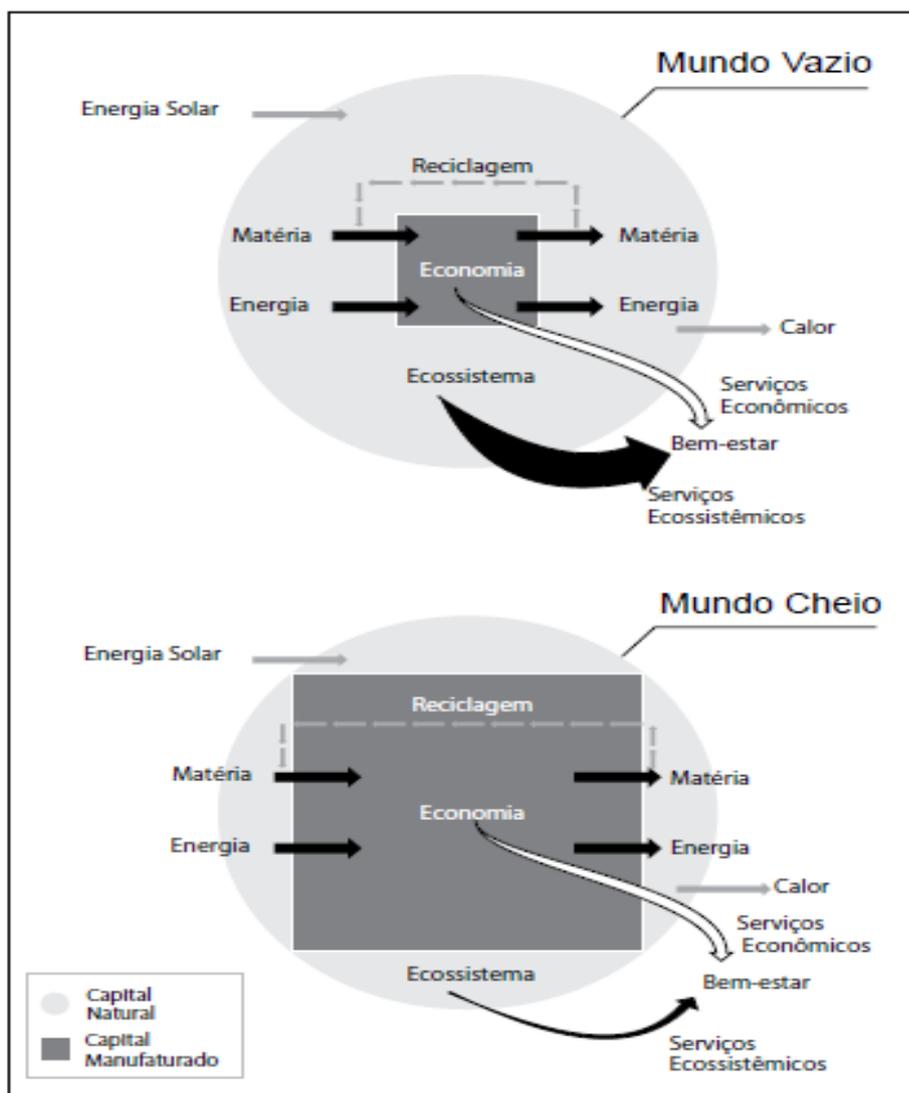
Daly (2007), citado por Enriquez (2008), indica os preceitos da economia ecológica, utilizando as ilustrações de “mundo vazio”, em comparação com o “mundo cheio”, conforme descrito na Figura 3.4, que apresenta as diferenças entre as épocas históricas. O “mundo vazio” indica a época em que o mundo apresentava baixa densidade populacional e padrões de consumo restritos. O “mundo cheio” indica a existência de superpopulação e padrões de consumo incompatíveis com a integridade do meio natural, salientando que o custo de oportunidade dos recursos naturais é muito elevado, em relação à época representada pelo “mundo vazio”. A não incorporação do terceiro nível (capital natural) poderia ser tolerável no “mundo vazio”, mas não o é no “mundo cheio”, onde há excesso, e não escassez, tanto de capital manufaturado, como de mão-de-obra. Nele (“mundo cheio”), o fator limitante da produção material passou a ser o capital natural, quanto à disponibilidade de recursos naturais e de serviços ecossistêmicos, bem como à capacidade de acúmulo e absorção de resíduos (ENRIQUEZ, 2008).

Visto que o contexto atual é de “mundo cheio”, em especial nas grandes aglomerações urbanas, sob a ótica da economia ecológica, é necessária a busca por alternativas que propiciem o equilíbrio entre oferta e demanda de água. Conforme Barros e Amim (2009), a gestão dos recursos hídricos deve ser orientada, então, por princípios de eficiência econômica, satisfazendo as demandas por recursos naturais sob os parâmetros da sustentabilidade e da capacidade de suporte ecossistêmica, definindo-se leis que revertam o quadro de insustentabilidade. Tais abordagens são feitas também por Forgiarini *et al.* (2010), os quais mencionam mecanismos de gestão ambiental que incorporam instrumentos de base econômica, como o Princípio do Usuário Pagador (PUP), que considera todos os usos dos recursos hídricos, inclusive a diluição de efluentes.

Destacam-se, como ferramenta de gestão de recursos hídricos, os dispositivos legais de outorga e cobrança pelo uso de água, os quais, no presente trabalho, foram abordados também

na seção referente aos resultados financeiros. A cobrança pelo uso de recursos hídricos é um instrumento econômico de gestão das águas previsto, em âmbito federal, na Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Os dispositivos legais mencionados referem-se ao uso dos recursos hídricos que estiverem sujeitos à outorga, tendo como objetivos principais o estímulo do uso racional da água e a geração de recursos financeiros para investimentos na recuperação e proteção dos mananciais das bacias. A cobrança somente se inicia após a aprovação pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) dos mecanismos e valores propostos pelo Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH).

Figura 3.5 – A “macrovisão” da macroeconomia na perspectiva da economia ecológica



Fonte: DALY (2007)

O abastecimento de água potável para uso doméstico, como uma das destinações dos recursos hídricos, normalmente está sob a responsabilidade das prestadoras de serviço de saneamento, as quais fixam as tarifas – preços a serem cobrados pelos serviços prestados, sob a

fiscalização e aprovação de agências reguladoras. Um dos principais objetivos da regulação é a definição de tarifas que permitam tanto o alcance e a manutenção do equilíbrio econômico-financeiro da prestação eficiente dos serviços (ARSAE, 2016)⁵.

A relação existente entre os referidos preços (tarifas), a renda familiar (classes socioeconômicas) e o consumo domiciliar de água constituem importantes parâmetros na conceituação econômica, em especial nos determinantes da elasticidade entre as variáveis mencionadas, conforme estudos desenvolvidos por Thompson *et al.* (1995), Thompson e Lima (2007) e Dias (2008).

As tarifas de água vigentes no local de estudo, as quais estão explicitadas detalhadamente no capítulo de materiais e métodos, interferem de forma direta na avaliação da implantação dos dispositivos hidráulicos analisados na presente pesquisa. Tal interferência é retratada por meio da aplicação de técnicas de análise de investimento sob a ótica do investidor privado, cujos parâmetros teóricos que também estão descritos no mesmo capítulo.

3.4.2 Diferença conceitual entre análises econômicas e análises financeiras

É necessário explicar, inicialmente, que a viabilidade e rentabilidade de qualquer projeto podem ser avaliadas por diversos pontos de vista, tais como: a do investidor privado, agência de financiamento, poder público, sociedade, dentre outros (CONTADOR, 2000).

A diferença entre as análises econômicas e financeiras, de forma geral, refere-se às perspectivas, conforme orientado pelo Banco Mundial (WORLD BANK, 2013), também abordado por Contador (2000). As análises econômicas, que também levam em conta os custos de oportunidade, focam o projeto sob o ponto de vista da sociedade, bem como suas externalidades – positivas e negativas, as quais não foram previstas inicialmente. Por outro lado, as análises financeiras, cujo foco é eminentemente contábil, consideram o ponto de vista do investidor, seja pessoa física ou jurídica, utilizando os preços de mercado, independentemente se representam ou não os custos reais para a sociedade, ignorando, a priori, as externalidades decorrentes do projeto. Em outras palavras, as análises financeiras, na ótica privada, buscam maximizar a satisfação do indivíduo (investidor) e as análises econômicas, na ótica social, prioriza o interesse coletivo.

⁵ Resolução ARSAE-MG n. 82/2016, de 12 de abril de 2016, que autoriza a Revisão Tarifária dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário prestados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA e dá outras providências.

O quadro ilustrado na Figura 3.5, proposto por Contador (2000), auxilia na elucidação desses aspectos. O referido autor destaca algumas características importantes a respeito dos projetos, em função do sinal – positivo ou negativo – nas linhas e colunas correspondentes:

Figura 3.6 – Classificação de projetos

| | | Ponto de vista econômico (social) | |
|------------------------|---|-----------------------------------|----|
| | | + | - |
| Ponto de vista privado | + | I | II |
| | - | III | IV |

Fonte: Contador (2000)

- Projetos *Tipo I*: são viáveis para ambos os pontos de vista e, visto que há atratividade privada para tal, não há necessidade de incentivos do poder público.
- Projetos *tipo II*: são atraentes para a iniciativa privada, mas prejudiciais para a sociedade como um todo, ou seja, são considerados prejudiciais à sociedade. Neste caso, são apontados dois cursos possíveis de ação: (i) aceitar a perda social como um preço a ser pago pela sociedade em detrimento do desenvolvimento econômico; (ii) desestimular sua implantação por meio de política tributária, creditícia ou do reforço nas normas reguladoras mais restritivas.
- Projetos *tipo III*: são inviáveis do ponto de vista privado, mas viáveis ou benéficos sob a ótica social. O setor privado somente será, de fato, estimulado a implanta-los com alguma forma de atratividade por meio de políticas públicas apropriadas. Neste caso, destacam-se alguns dispositivos comuns de geração de estímulos a tais projetos, tais como: isenção fiscal, redução de tributos, políticas de crédito, financiamento subsidiado, dentre outras, cabendo à sociedade – poder público e órgãos financiadores – as definições quanto ao interesse pela alocação dos recursos financeiros.
- Projetos *tipo IV*: devido ao fato de serem inviáveis sob ambos os pontos de vista, não constituem objeto de análise.

Salienta-se que o presente trabalho utiliza os conceitos de análise financeira sob o ponto de vista privado nos estudos de viabilidade de implantação das estratégias de redução do consumo domiciliar de água potável. Entretanto, faz-se necessário ressaltar que a água é um recurso imprescindível ao desenvolvimento da sociedade e encontra-se sob a égide de princípios fundamentais (BRASIL, 2007), tais como: universalização de acesso, qualidade, regularidade, dentre outros. Tais princípios apontam que a análise estritamente financeira,

apesar de constituir importante aspecto, não pode ser considerada isoladamente, sendo indicada a condução de análises econômicas, focando os benefícios sociais, incluindo as externalidades positivas, como a manutenção dos recursos hídricos nos mananciais de origem.

3.4.3 Outros conceitos importantes

A seguir estão descritos outros conceitos importantes no tocante aos aspectos econômicos, adaptados de Contador (2000), Paiva (2008), Dias (2008), Thompson (1995), Thompson e Lima (2007) e Oliveira (2013):

a. Renda:

No presente estudo, de forma geral, considera-se como renda (ou *rendimento*), no mês de referência, o valor efetivamente recebido do trabalho, de acordo com IBGE (2010), levando em conta também os benefícios recebidos em dinheiro por pessoas licenciadas por instituto de previdência e, no caso de empregados, o rendimento bruto efetivamente recebido. Cumpre enfatizar que, de acordo com os autores mencionados anteriormente, a renda melhor se propõe à demonstração dos possíveis e reais efeitos sobre o consumo doméstico de água pelas famílias.

b. Consumo e demanda

Algumas questões concernentes ao consumo e demanda foram mencionadas anteriormente, notadamente no tocante à água. De forma geral, conforme Michaelis (2016), o conceito de *consumo* refere-se ao gasto (“ato ou efeito de consumir, dispêndio”) de determinado bem ou serviço, diferindo do conceito de *demanda*, o qual está relacionado à procura (“quantidade necessária”) por um bem ou serviço. A relação de proporcionalidade direta entre o consumo e demanda de água com os indicadores de renda da população constitui aspecto importante neste trabalho, conforme abordagem realizada anteriormente.

c. Elasticidade da demanda-renda da demanda-preço:

A elasticidade de um produto ou serviço refere-se à medida de sensibilidade de uma variável em relação a outra, ou seja, é um número que indica a variação percentual que ocorre em uma variável em relação à variação de outra variável.

Thompson e Lima (2007) também mencionam a elasticidade preço da demanda para a água:

“O conhecimento da elasticidade-preço da demanda também se presta para a análise da efetividade de um política de controle da demanda, via preços, quando e se for necessário o racionamento da demanda. Quanto mais

inelástica a demanda, menor será a redução da quantidade demandada como reação a tarifas aumentadas com vistas a igualar a demanda a uma menor oferta do serviço. Se a elasticidade da demanda for pequena, então, será necessário recorrer a um racionamento físico da água, limitando-a a horários ou a dias de suprimento”. (Pág. 9)

Por outro lado, a lei da demanda também incorpora o conceito da elasticidade renda da demanda, o qual traduz a forma de medir o impacto na variação relativa ou percentual nas quantidades procuradas de um bem sempre que houver uma variação na renda disponível para gastos do consumidor (MONTORO FIHO, 1988, citado por DIAS, 2012). Tais autores esclarecem que trata-se de um parâmetro que mede a reação dos usuários (consumidores) de um determinado bem ou serviço a variações no seu rendimento, considerando-se fixas as demais variáveis. Assim a elasticidade renda da demanda mede o que ocorre com a quantidade consumida do serviço no caso de uma variação na renda dos referidos consumidores.

Ressalta-se que a elasticidade renda da demanda exerce papel importante nas análises desenvolvidas na presente pesquisa, conforme já destacado, fato corroborado por Thompson e Lima (2007):

“O desenvolvimento econômico de um país ou uma região implica na expansão dos rendimentos dos seus habitantes, o que os induzirão a aumentar a quantidade de consumo de diversos bens e serviços, inclusive o consumo de água nos domicílios. A variação do consumo de água é dependente da elasticidade-renda dos consumidores. Em outras palavras, aumentos nos rendimentos, provavelmente trazidos pelo desenvolvimento econômico, implicarão no aumento da quantidade demandada deste serviço, ao qual é preciso responder com um correto dimensionamento da oferta do mesmo. Ter estimativas da elasticidade-renda da demanda de água se justifica pela necessidade de planejar a expansão da oferta do serviço, antecipando a necessidade de investimentos a serem feitos.”(Pág. 9)

3.4.4 Aspectos relacionados à avaliação de políticas públicas

O poder público, responsável pela elaboração e implantação de políticas e programas, exerce importante papel no cumprimento das diretrizes legais no tocante ao saneamento básico – em especial, às relacionadas ao abastecimento de água –, conforme preceitua a Lei 11.445

(BRASIL, 2007). Neste caso, cabe enfatizar as relações entre desenvolvimento econômico e elasticidade renda da demanda, conforme explicado nos itens anteriores.

Mercedes (2002), citada por Rossoni (2016), aponta que a participação do poder público no fornecimento, financiamento e nas intervenções nas ações de saneamento representa uma questão de soberania e interesse institucional, afinal, são serviços essenciais para a população e constituem monopólios naturais. O mesmo autor cita Chanduvi (2008), que caracteriza o monopólio natural por atividades em que a concorrência de mercado gera ineficiência produtiva do ponto de vista econômico por conta dos efeitos da economia de escala. Neste sentido, cumpre salientar a importância das agências reguladoras, quanto à fiscalização da prestação dos serviços públicos de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, edição de normas técnicas e no tocante ao regime tarifário, observando os direitos e obrigações legais das prestadoras de serviço, órgãos públicos e usuários.

No caso de avaliação de políticas ou programas, o intuito é compreender *se* e *como* obtêm êxito e em qual momento isso acontece, objetivando dar subsídios e diretrizes para decisões em relação a melhorias, ampliações ou modificações que podem ser feitas implementadas (BARTIK e BINGHAM, 1995, citados por RESENDE, 2014).

Resende (2014), citando Jann e Wegrich (2007), orienta que o ciclo de uma política pública é normalmente dividido em cinco etapas: (i) análise (agenda-setting); (ii) formulação (design); (iii) escolha (tomada de decisão); (iv) implementação; (v) avaliação de resultados. Inicialmente, os problemas são definidos e colocados na agenda; em seguida, as políticas são desenvolvidas e implementadas e, por último, são avaliadas em relação à sua eficácia e eficiência. O objetivo é aprimorar o planejamento e aplicação dos recursos disponíveis, otimizando os resultados observados e obtendo a melhoria do padrão de vida das pessoas, além da promoção do desenvolvimento socioeconômico.

Salienta-se que um dos objetivos da pesquisa é a avaliação *técnica* (por meio de simulações hidráulicas) e *financeira* (por meio da aplicação de técnicas de análise de investimentos sob a ótica privada) de estratégias e dispositivos que promovam a redução do consumo domiciliar de água potável e a proposição de diretrizes para a elaboração de políticas públicas referentes ao tema. Assim, não se trata de uma metodologia de avaliação de políticas públicas já implantadas. Pode-se considerar que a presente pesquisa visa fornecer diretrizes às etapas de *análise e formulação* das políticas.

3.5 Aspectos gerais quanto à relevância do tema proposto

Verifica-se a existência de pesquisas relacionadas ao tema proposto – conservação de água potável em edificações residenciais por meio do uso de aproveitamento de água de chuva, aparelhos economizadores e medição individualizada, conforme já exposto. Considerando a revisão de literatura realizada, o intuito do presente estudo foi suprir uma lacuna nas pesquisas já desenvolvidas, destacando-se alguns tópicos quanto à sua relevância:

- (i) Tratamento de dados sobre edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares existentes em um município de grande porte, correlacionando-as com projetos-padrão residenciais, bem como à distribuição da população quanto às classes socioeconômicas;
- (ii) Simulação hidráulica da implantação de dispositivos economizadores de água em projetos-padrão residenciais – aproveitamento de água de chuva, uso de aparelhos hidráulicos economizadores e de medição individualizada em edifícios – que proporcionem redução do consumo domiciliar de água potável;
- (iii) Extrapolação em larga escala (escala municipal), dos resultados individuais das simulações e avaliação do potencial de economia de água potável;
- (iv) Análise de viabilidade financeira, utilizando-se métodos de análise de investimentos sob a ótica privada, referente à implantação dos referidos dispositivos nos projetos-padrão;
- (v) Proposição de diretrizes para elaboração de políticas públicas que fomentem, em escala municipal, a implantação dos dispositivos economizadores de água potável em domicílios.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente capítulo destina-se a apresentar as diretrizes metodológicas da pesquisa. Em linhas gerais, estão listados a seguir os principais tópicos abordados, cujos procedimentos foram detalhados nas seções subsequentes:

- Formatação da base de dados necessária para o desenvolvimento da pesquisa;
- Estudo e análise dos aspectos técnicos dos dispositivos hidráulicos que proporcionem economia de água no âmbito domiciliar (especificações técnicas e potencial de economia de água) e financeiros (custos de implantação, manutenção e operação) referentes a:
 - Sistemas de aproveitamento de água de chuva, onde foram considerados os aspectos hidrológicos a partir da base de dados pluviométricos, as estimativas de demanda de água não potável substituível por água de chuva e o dimensionamento dos reservatórios;
 - Aparelhos hidráulicos economizadores, incluindo a determinação dos tipos de aparelhos utilizados, a participação percentual de cada um no consumo residencial, obtida a partir da setorização do consumo domiciliar e os respectivos potenciais de economia de água;
 - Medição individualizada de água em edifícios de apartamentos, determinando-se os percentuais de redução do consumo de água potável de acordo com o padrão construtivo e as classes socioeconômicas das famílias residentes.
- Simulações hidráulicas do potencial de redução do consumo de água potável decorrente da implantação dos dispositivos hidráulicos economizadores. Foram utilizados os projetos-padrão como referência nas simulações, destacando que o uso dos mesmos objetivou a redução da variabilidade das edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares existentes no município tomado como estudo de caso, visando à extrapolação dos resultados obtidos em escala municipal;
- Análise de viabilidade financeira, sob a ótica do investidor privado, utilizando métodos de análise de investimento (análise de custo-benefício), calculando-se parâmetros como valor presente líquido (VPL) e período de retorno descontado (*payback*).
- Extrapolação dos resultados, objetivando a obtenção do potencial de economia de água larga escala (escala municipal), para cada projeto-padrão, salientando que tal procedimento

foi possível devido à disponibilidade de base cadastral das edificações residenciais existentes no município, as quais foram correlacionadas aos projetos-padrão mencionados.

4.1 Diretrizes metodológicas

As diretrizes metodológicas aplicadas à presente pesquisa estão baseadas nas premissas mencionadas anteriormente, destacando-se:

- O consumo de água é função da classe socioeconômica das famílias e das características construtivas da residência, razão pela qual foi estudada a relação entre tais parâmetros: (i) consumo e renda das famílias e (ii) consumo e características da edificação;
- A adequada gestão de oferta e demanda de água é condição importante na manutenção de níveis de abastecimento do recurso, sob o ponto de vista quantitativo e qualitativo;
- Os sistemas de aproveitamento de água de chuva são função das características da edificação residencial: área para captação de água de chuva (telhado), área de piso – interna e externa – a serem lavadas, bem como da área de jardins a serem irrigados. Salienta-se que, no contexto da presente pesquisa, a água de chuva destina-se apenas a usos não potáveis: descarga sanitária, lavagem de piso e irrigação de áreas verdes;
- Os outros dois dispositivos economizadores estudados no presente trabalho – aparelhos hidráulicos economizadores e medição individualizada – estão relacionados principalmente à demanda total de água no domicílio, a qual não está restrita apenas a usos não potáveis;

Destacam-se ainda outros aspectos sobre os quais as diretrizes metodológicas estão baseadas, no tocante ao município de Belo Horizonte, tomado como estudo de caso:

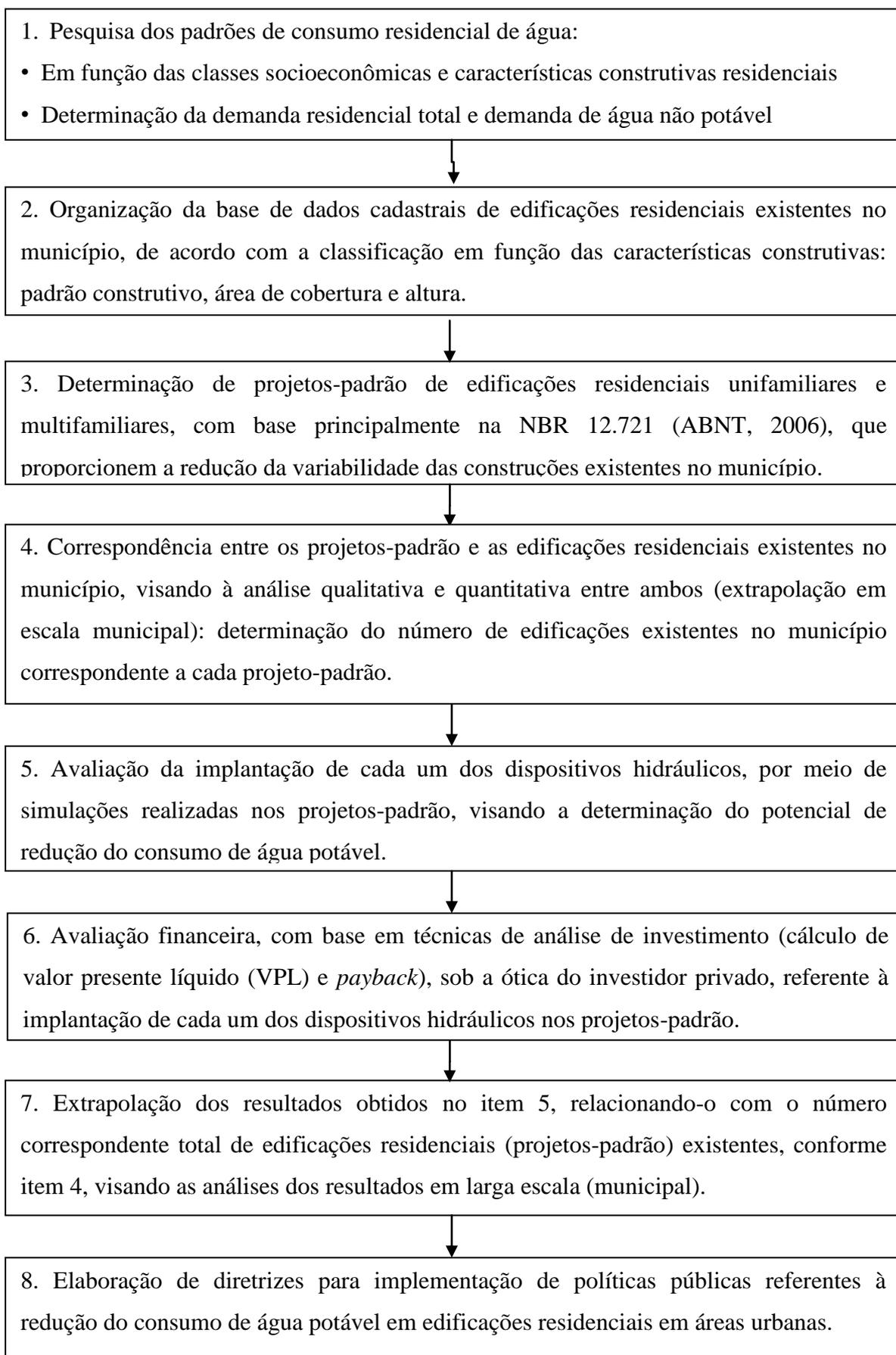
- O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio de pesquisa censitária atualizada em 2010, dispõe de dados populacionais e de renda, segundo os 3884 setores censitários existentes no município de Belo Horizonte. Tal base de dados permite, para cada setor censitário, a determinação da população residente e sua distribuição socioeconômica;
- A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) dispõe de dados de consumo residencial de água potável, em base mensal, para cada um dos seis distritos operacionais do município de Belo Horizonte. Tal base de dados, em conjunto com os parâmetros

censitários, principalmente a população e renda, permitiu o estudo do perfil de consumo da população em função do perfil socioeconômico;

- A Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PMBH) dispõe de um cadastro de edificações residenciais existentes no município, classificando-as segundo o padrão construtivo, altura e área de cobertura. Tal cadastro foi organizado por meio de programas computacionais de sistemas de informação geográfica e planilhas eletrônicas.
- A partir da organização da base cadastral das edificações residenciais existentes no município, segundo suas características construtivas, foi possível reduzir a variabilidade das mesmas, utilizando-se projetos-padrão residenciais unifamiliares (casas) e multifamiliares (edifícios de apartamentos), tendo por referência a NBR 12.721 (ABNT, 2006). Os referidos projetos foram utilizados nas simulações hidráulicas e financeiras referentes à implantação dos dispositivos que proporcionam redução do consumo residencial de água. Salienta-se que a análise dos projetos-padrão e suas características arquitetônicas permitiu a quantificação e avaliação de pontos de consumo de água, bem como das áreas de captação de água de chuva nos telhados.
- A correlação entre a base cadastral existente e os projetos-padrão possibilitou a extrapolação, em escala municipal, dos resultados obtidos nas simulações hidráulicas.

As diretrizes metodológicas, que são norteadas pelas premissas mencionadas, estão esquematizadas genericamente na Figura 4.1 e detalhadas no presente capítulo.

Figura 4.1 – Fluxograma metodológico geral da pesquisa



Tendo em vista os objetivos da pesquisa, são delineadas a seguir as diretrizes metodológicas, com base no fluxograma da Figura 4.1:

- a. Pesquisa dos padrões de consumo residencial de água e estabelecimento de critérios de determinação de demanda de água potável e não potável considerando as características socioeconômicas das famílias e os padrões construtivos das edificações residenciais, conforme padrões de acabamento, em âmbito geral e para o local de estudo. Pretende-se, assim, determinar o consumo residencial de água, em litros / habitantes x dia, relacionando-o com o perfil socioeconômico e os padrões construtivos de edificações residenciais segundo os setores censitários utilizados pelo IBGE.
- b. Determinação de projetos-padrão de edificações residenciais unifamiliares (casas) e multifamiliares (edifícios) sobre os quais realizaram-se as simulações de implantação de dispositivos economizadores de água potável. Tais projetos-padrão objetivaram a redução da variabilidade das características das edificações residenciais existentes no local de estudo, a um conjunto de quinze projetos-padrão – cinco unifamiliares e dez multifamiliares –, obtidos, em grande parte, da NBR 12.721 (ABNT, 2006).
- c. Estabelecimento da correlação entre os projetos-padrão e a distribuição das edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares existentes no município, a partir do cadastro técnico municipal, organizando-as por suas características construtivas, para cada projeto-padrão, permitindo a obtenção do número correspondente de residências existentes.
- d. Avaliação dos dispositivos que proporcionem redução do consumo residencial de água potável: (i) aproveitamento de água de chuva; (ii) uso de aparelhos hidráulicos economizadores; (iii) uso de medição individualizada de água em edifícios de apartamentos. Os dispositivos foram avaliados por meio de simulações hidráulicas e financeiras para cada um dos projetos-padrão, determinando-se o potencial de redução do consumo de água potável para cada caso, o período de retorno do investimento (*payback*) e o valor presente líquido (VPL) a partir dos custos correspondentes (implantação, operação e manutenção).
- e. Extrapolação dos resultados obtidos nas simulações para o total de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, em escala municipal, analisando-se o potencial de redução do consumo de água potável para cada caso. A extrapolação foi realizada considerando-se os resultados individuais das simulações nos projetos-padrão e o número correspondente de cada projeto conforme base de dados das edificações residenciais existentes.

- f. Desenvolvimento de discussões a partir dos resultados do potencial hidráulico referente à economia de água potável em larga escala e os resultados das análises financeiras, visando a elaboração de diretrizes para elaboração de políticas públicas relativas ao tema.

O enfoque dessa pesquisa está na aplicação dos dispositivos já mencionados visando à redução de consumo domiciliar de água potável. Ressalva-se, contudo, a importância dos aspectos listados a seguir, de acordo com ANA (2005), Boni (2009), Gonçalves (2009), CBCS (2014) e Ribeiro (2015), os quais não foram desenvolvidos no presente trabalho:

- Conscientização social e educacional na gestão do consumo de água;
- Existência de perdas internas da edificação e na rede de distribuição, por vazamentos, ligações clandestinas e outros fatores;
- O reuso de águas residuárias amarelas e cinzas, que constitui importante estratégia de conservação de água potável, também não foi desenvolvido nessa pesquisa.

4.2 Formatação da base de dados

No presente item, foram elencados os dados principais utilizados no estudo, apresentando-se os métodos adotados para o tratamento dos mesmos visando, por um lado, eliminar aqueles reconhecidamente afetados por erros e, por outro lado, extrair as informações requeridas para as análises subsequentes. Foi apresentada também a metodologia utilizada no processamento de parte da base de dados, principalmente no tocante ao consumo residencial de água e à distribuição das edificações residenciais existentes no município.

Assim, são listados a seguir os principais dados utilizados no desenvolvimento metodológico, referentes ao município de Belo Horizonte, tomado como estudo de caso:

- a. Distribuição populacional e classificação socioeconômica das famílias, dados obtidos a partir do último censo (IBGE, 2010), segundo os 3.884 setores censitários no município;
- b. Consumo residencial micromedido de água, em base mensal, para o município de Belo Horizonte, segundo os seis distritos operacionais, obtido junto à Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), no período de agosto de 2003 a outubro de 2012, perfazendo 111 meses;
- c. Distribuição das edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares existentes no município de Belo Horizonte, segundo as nove regiões administrativas, de acordo com

suas áreas de cobertura e características construtivas, conforme cadastro técnico da Prefeitura Municipal;

- d. Projetos-padrão de edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, obtidos em grande parte da NBR 12.721 (ABNT, 2006) e utilizados para representar as edificações existentes no município, reduzindo a variabilidade das mesmas;
- e. Série temporal de alturas diárias de precipitação, no período de 02/01/1988 a 31/12/2012, perfazendo 25 anos. Essa base de dados foi apresentada no item “aspectos hidrológicos”, utilizada nas simulações de aproveitamento de água de chuva.
- f. Estimativas de custos dos equipamentos, materiais e mão-de-obra necessários à implantação, operação e manutenção dos sistemas estudados na pesquisa, tomando-se por referência o ano de 2014. Tal abordagem foi feita nos itens específicos de cada um dos dispositivos;
- g. Tarifa de água no local de estudo e parâmetros de reajuste tarifários e inflacionários. Tais parâmetros aplicam-se principalmente às análises financeiras (custo-benefício) referentes à implantação dos dispositivos.

4.2.1 Classes socioeconômicas

Foram adotadas as diretrizes da Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP), através do Critério de Classificação Econômica Brasil (CCBE), que é aplicado a diversas regiões metropolitanas brasileiras, destacando-se: São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Salvador, Recife, Curitiba, Porto Alegre e Distrito Federal. Segundo o referido critério, a classificação socioeconômica da população pode ser determinada em função de diversos fatores, tais como: renda familiar, bens que possui e grau de instrução do responsável pela família. Tais fatores possibilitam a estimativa do poder de compra das pessoas e famílias urbanas (ABEP, 2012).

O critério estratifica as classes de acordo com a seguinte nomenclatura, descrita em ordem decrescente de renda: A1, A2, B1, B2, C1, C2, D e E, sendo que, para cada classe socioeconômica, é estimada uma renda mensal média bruta familiar (R\$/mês). Considerando o tamanho reduzido das classes A1 e E, no âmbito da presente pesquisa, as classes foram agrupadas em três grupos – AB, C e DE – de modo a otimizar o processamento dos dados, salientando-se que os mesmos foram processados segundo os setores censitários de Belo Horizonte, a partir dos indicadores descritos em IBGE (2010).

4.2.2 Consumo residencial de água

Procurou-se estabelecer padrões de consumo residencial de água potável em Belo Horizonte em função das classes socioeconômicas das famílias, para serem utilizados nas simulações de economia de água potável decorrentes do uso de dispositivos que reduzam seu consumo. Foi considerado o modelo proposto inicialmente por Dias (2008) e atualizado, no âmbito da presente pesquisa, por Dias *et al.* (2014), cuja metodologia destina-se à determinação, para o contexto de Belo Horizonte, do consumo residencial médio per capita de água em função da renda per capita mensal. A obtenção do referido modelo foi possível por meio da análise e processamento do histórico de consumo residencial de água, agregado por distrito operacional, em conjunto com os microdados da Pesquisa Mensal de Emprego⁶ (PME), realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

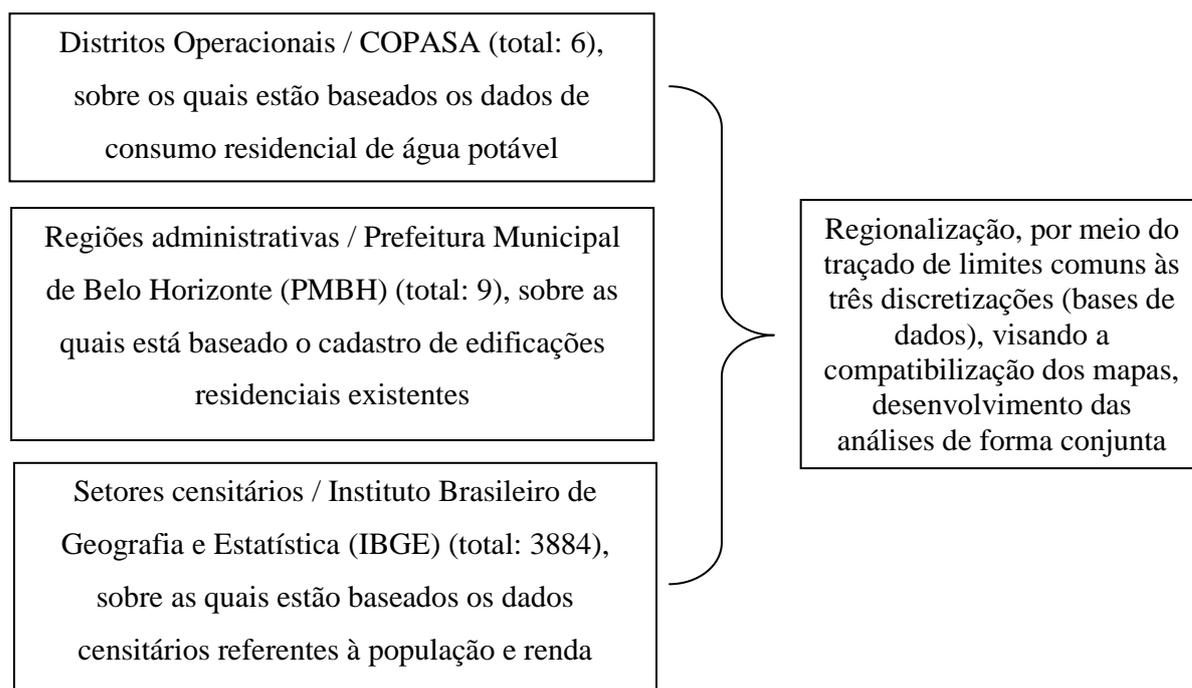
Conforme Dias (2008), a PME é desenvolvida através de visitas a domicílios selecionados por amostragem, segundo os setores censitários⁷ do município e é realizada em seis regiões metropolitanas brasileiras – Recife, Salvador, Rio de Janeiro, São Paulo, Porto Alegre e Belo Horizonte –, sendo que, para esta última, são pesquisados 3.100 domicílios. Sua divulgação é mensal e tem como principal objetivo a avaliação das condições e a inserção da população no sistema produtivo, englobando aspectos de renda, emprego e outras 186 variáveis que possibilitam a avaliação de tendências do mercado de trabalho e do rendimento da população.

É necessário enfatizar que, de forma geral, a presente pesquisa buscou relacionar três bases de dados: (i) Consumo residencial de água, segundo os distritos operacionais da COPASA; (ii) Dados populacionais e de renda, por meio da PME, segundo os 3884 setores censitários definidos pelo IBGE; (iii) Cadastro de edificações residenciais existentes, segundo as nove regiões administrativas da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PMBH): Venda Nova, Norte, Pampulha, Nordeste, Leste, Noroeste, Centro-Sul, Oeste e Barreiro. Os dados explicitados foram processados por meio de três discretizações espaciais, conforme descrito na Figura 4.2, regionalizando-se os limites comuns às mesmas, visando sua adequada sobreposição. Salienta-se que as análises foram realizadas segundo os 3884 setores censitários definidos pelo IBGE, visando à relação com os parâmetros populacionais e de renda.

⁶ http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/trabalhoerendimento/pme_nova/ (acesso em 01/07/2014)

⁷ Segundo IBGE (2010), os setores censitários são definidos como a menor unidade territorial, formada por área contínua, com dimensão adequada à operação de pesquisas pelo IBGE. Em Belo Horizonte, cada setor censitário agrega o resultado médio de um conjunto de cerca de 196 domicílios particulares permanente.

Figura 4.2 – Discretizações espaciais para o município de Belo Horizonte consideradas na pesquisa



Nota: A sobreposição dos mapas com as três discretizações espaciais está apresentada nos resultados da pesquisa

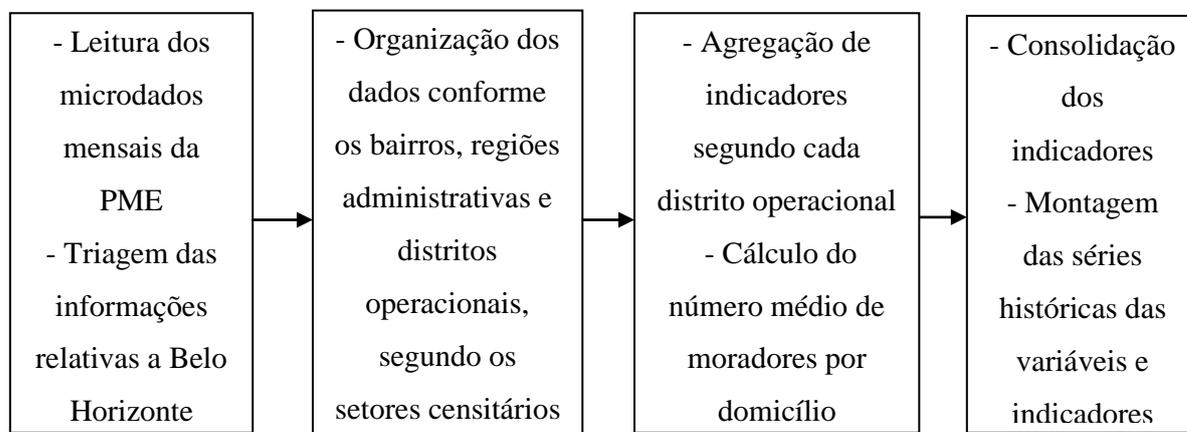
Para o desenvolvimento da pesquisa, utilizaram-se os seguintes dados, para o município de Belo Horizonte, conforme Dias (2008):

- Dados obtidos junto à COPASA:
 - Consumo residencial micromedido mensal de água, abrangendo 111 meses, no período de agosto de 2003 a outubro de 2012, para os seis distritos operacionais: Leste (DTLE), Noroeste (DTNO), Norte (DTNT), Oeste (DTOE), Sul (DTSL) e Sudoeste (DTSO);
 - Evolução das tarifas residenciais de água no mesmo período, objetivando a comparação entre a renda familiar e o custo da água para os consumidores ao longo do tempo.
- Dados socioeconômicos obtidos junto ao IBGE:
 - Dados censitários e microdados da Pesquisa Mensal de Emprego (PME), abrangendo o mesmo período dos dados fornecidos pela COPASA. Tais dados permitiram o cálculo dos rendimentos mensais per capita, o número médio de moradores por domicílio, dentre outros, os quais foram consolidados e confrontados com os dados de consumo residencial de água para cada distrito operacional. A correlação entre a renda mensal *per capita* e as classes socioeconômicas está apresentada no capítulo de caracterização do local de estudo.

A Figura 4.3 apresenta, de forma simplificada, o fluxograma que explica como foi realizada a preparação, filtragem e agregação dos dados socioeconômicos e de consumo residencial de água utilizados na pesquisa. A relação entre o consumo domiciliar de água e as classes socioeconômicas da população foi possível comparando-se a evolução da renda e da tarifa de água para os consumidores no município, ao longo do período considerado. Determinou-se, conforme Dias (2008), o valor relativo da água no período abordado, por meio da compatibilização da evolução da renda e das tarifas de água, estabelecendo-se o real poder de compra por parte da população consumidora, no que diz respeito ao custo da água, considerando como base as tarifas mínimas praticadas pela prestadora de serviços de saneamento. Ainda segundo o referido autor:

“Com o objetivo de se determinar o real poder de aquisição por parte da população, os rendimentos aferidos foram ajustados de forma relativa ao crescimento do custo médio da tarifa mínima mensal, aplicando-se os índices de inflação da água. Considerou-se, portanto, como marco inicial do preço unitário, a data de agosto de 2003, a partir da qual o rendimento da população seria deflacionado conforme índices do valor relativo da água.” (Dias, 2008).

Figura 4.3 – Fluxograma do tratamento de dados da PME e de consumo residencial



Fonte: Adaptado de Dias (2008)

Utilizou-se o *software* estatístico *Statistical Package for the Social Science* (SPSS) para o processamento e análise dos microdados da PME e de consumo de água, de forma agregada para cada distrito operacional, permitindo a determinação de modelo que relaciona os parâmetros – consumo domiciliar *per capita* de água e renda *per capita*. Para a especificidade da pesquisa, o modelo de projeção de consumo domiciliar urbano de água baseou-se na renda e nas classes socioeconômica das populações estudadas, estabelecendo-se os respectivos agrupamentos em faixas de rendimento e os respectivos consumos de água potável.

4.2.3 Projetos-padrão

Conforme mencionado anteriormente, os projetos-padrão destinaram-se a ser base para o desenvolvimento de simulações hidráulicas e financeiras (análises de custo-benefício) com o uso dos três dispositivos analisados na presente pesquisa, os quais proporcionam redução do consumo de água potável em residências. A análise dos projetos-padrão e suas respectivas áreas de cobertura possibilitou a obtenção de informações relevantes para a quantificação e avaliação de pontos de consumo de água e para as simulações de oferta e aproveitamento de água de chuva coletada nos telhados. Por fim, os projetos mencionados foram correlacionados às edificações residenciais existentes em Belo Horizonte conforme base cadastral disponibilizada pela Prefeitura Municipal, permitindo uma análise, em larga escala (escala municipal), do potencial de economia de água no âmbito residencial.

Devido ao fato de ter abrangência nacional, optou-se por utilizar os projetos-padrão estabelecidos na NBR 12721:2006 (ABNT, 2006). Os projetos-padrão são definidos pela referida norma como sendo representativos de diferentes tipos de edificações usualmente objeto de incorporação para construção em condomínios, estabelecidos por suas características, tais como: número de pavimentos, número de unidades e cômodos internos e padrão de acabamento (B – Baixo / N – Normal / A – Alto) (ABNT, 2006).

A norma apresenta doze projetos-padrão residenciais, sendo quatro unifamiliares (casas) e oito multifamiliares (edifícios de apartamentos). Contudo, conforme detalhado no capítulo de resultados, para a melhor representação da base de edificações residenciais existentes no município, tornou-se necessário estabelecer outros três projetos-padrão – R1-X (unifamiliar), R8-X e R8-Y (multifamiliares).

Na Tabela 4.1 estão apresentadas a nomenclatura dos projetos-padrão residenciais, bem como suas características gerais que as diferenciam entre si. Tais características estão detalhadas no Anexo 1 do presente texto. Salienta-se que os projetos-padrão “popular” e “de interesse social” (RP1-Q e PIS, respectivamente) representam construções de padrão de acabamento inferior em relação aos de padrão “baixo” e têm menores dimensões em suas unidades domiciliares, quando comparados aos demais projetos.

Tabela 4.1 – Nomenclatura dos projetos-padrão de edificações residenciais

| Projetos-Padrão – Nomenclatura e características gerais | |
|---|---|
| Unifamiliares (casas) | |
| RP1-Q | Residência unifamiliar popular (1 pavimento) |
| R1-B | Residência unifamiliar padrão baixo (1 pavimento) |
| R1-N | Residência unifamiliar padrão normal (1 pavimento) |
| R1-A | Residência unifamiliar padrão alto (1 pavimento) |
| R1-X ⁽¹⁾ | Residência unifamiliar padrão luxo (2 pavimentos) |
| Multifamiliares (edifícios de apartamentos) | |
| PIS | Residência multifamiliar – projeto de interesse social (térreo e 4 pavimentos-tipo) |
| PP-B | Residência multifamiliar – padrão baixo (térreo e 3 pavimentos-tipo) |
| R8-B | Residência multifamiliar – padrão baixo (térreo e 7 pavimentos-tipo) |
| PP-N | Residência multifamiliar – padrão normal (pilotis e 4 pavimentos-tipo) |
| R8-N | Residência multifamiliar – padrão normal (garagem, pilotis e 8 pavimentos-tipo) |
| R8-Y ⁽¹⁾ | Residência multifamiliar – padrão normal (garagem, pilotis e 8 pavimentos-tipo) |
| R16-N | Residência multifamiliar – padrão normal (garagem, pilotis e 16 pavimentos-tipo) |
| R8-A | Residência multifamiliar – padrão alto (garagem, pilotis e 8 pavimentos-tipo) |
| R8-X ⁽¹⁾ | Residência multifamiliar – padrão alto (garagem, pilotis e 8 pavimentos-tipo) |
| R16-A | Residência multifamiliar – padrão alto (garagem, pilotis e 16 pavimentos-tipo) |

(1) Fonte: ABNT (2006), excetuando R1-X, R8-X e R8-Y (elaboração própria). Ver Anexo 1.

4.2.4 Distribuição de edificações residenciais em Belo Horizonte

O cadastro de edificações residenciais existentes em Belo Horizonte foi estudado visando ao estabelecimento de correlação qualitativa e quantitativa com os projetos-padrão, obtendo-se o número correspondente de edificações existentes no município segundo cada projeto-padrão da NBR 12721:2006. A base geoprocessada utilizada nesse trabalho foi fornecida pela Gerência de Cadastros Tributários da Secretaria Municipal de Finanças da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PMBH) por meio de arquivos contendo os dados cadastrais e mapas do município, compondo-se de:

- Base cadastral do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), atualizada em 2013, a qual abrange todas as edificações existentes, incluindo todos os usos – residencial, comercial, industrial, dentre outros.
- Restituição aerofotogramétrica realizada em 2008: dados processados pela Empresa de Processamento de Dados de Belo Horizonte (PRODABEL), abrangendo todas as edificações existentes e que possuem cobertura (laje, telhado, etc.);

A base cadastral foi processada nos programas computacionais Excel 2007, da Microsoft e MapInfo 11.0, da Geograph, selecionando-se as informações relevantes para o trabalho a partir do índice cadastral do IPTU (PMBH) e da codificação dos setores censitários (IBGE), a saber:

- Dados relativos exclusivamente às edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, conforme distribuição e localização nas nove regiões administrativas de Belo Horizonte descritas na Tabela 5.1.

É importante destacar que a base de dados original da PMBH possui quatro classificações de edificações residenciais: barracão, casa, apartamento e vaga de garagem residencial. Neste trabalho, as duas primeiras foram inseridas na classificação de edificações residenciais unifamiliares, enquanto as informações relativas aos apartamentos foram inseridas na classificação de edificações residenciais multifamiliares e as vagas de garagem não foram computadas.

- Padrões de acabamento construtivo definidos pela PMBH conforme as características construtivas do imóvel: P1 (popular), P2 (baixo), P3 (normal), P4 (alto) e P5 (luxo). Tais padrões foram reagrupados visando à compatibilização com os padrões definidos pela NBR 12.721:2006 (baixo, normal e alto): P1P2 (padrão baixo), P3 (padrão normal) e P4P5 (padrão alto). As edificações residenciais ficaram assim classificadas:
 - Edificações residenciais unifamiliares: Casas P1P2, Casas P3 e Casas P4P5;
 - Edificações residenciais multifamiliares: Edifícios P1P2, Edifícios P3 e Edifícios P4P5.

Visando obter um melhor entendimento do cadastro de edificações existentes em Belo Horizonte conforme classificações realizadas, calcularam-se as frequências relativas e acumuladas de edificações em função dos padrões construtivos e das áreas de projeção de cobertura, descritas nos projetos aprovados e na certidão de “Habite-se” emitida pela PMBH. Realizou-se, conforme indicado por Naghetini e Pinto (2007), a caracterização da amostra de dados por meio de estatísticas descritivas, sintetizando o padrão de distribuição das variáveis e extraíndo informações referentes às medidas de tendência central, de dispersão e de assimetria e de curtose, calculando-se os valores médios, máximos e mínimos, mediana, desvio padrão, dentre outros.

Verificou-se, na análise inicial da base de dados, o registro de áreas muito reduzidas (inferiores a 10 m²), que referiam-se a edificações residenciais, motivo pelo qual foram

excluídas da base de dados. Também foram observadas edificações com elevadas áreas de projeção de cobertura; são áreas que sugerem erro de análise de imagem, uma vez que atingem valores de outliers, com áreas superiores a 1000 m² para residências unifamiliares, por exemplo. Tal fato ocorre devido a distorções no levantamento aerofotogramétrico realizado em 2008 que, por vezes, não distingue o limite entre edificações distintas e que estejam muito próximas entre si, tratando-as como uma única edificação, resultando em elevadas áreas de cobertura. Assim, foi necessário identificar os pontos atípicos na amostra, ou seja, os *outliers* superiores (OS), adotando-se o critério proposto por Naguettini e Pinto (2007), segundo o qual é considerado *outlier* superior todo elemento da amostra que seja maior que a equação 4.1:

$$OS > Q_3 + 1,5 \times AIQ \quad (\text{Equação 4.1})$$

Onde:

OS: *Outliers* superiores

AIQ (amplitude interquartis) = $Q_3 - Q_1$

$Q_3 - Q_1$ (3° e 1° quartis, respectivamente).

O cálculo das frequências relativas e acumuladas de edificações unifamiliares e multifamiliares existentes em Belo Horizonte em função de seus padrões construtivos – P1P2, P3 e P4P5 – e das áreas de projeção de cobertura permitiu a elaboração de histogramas, os quais descrevem a distribuição das edificações no município, facilitando a visualização dos critérios de identificação dos *outliers* superiores e descarte de dados.

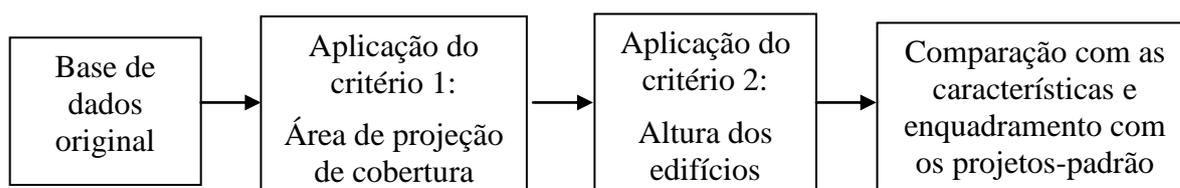
A organização da base de dados permitiu a análise comparativa entre os projetos-padrão já descritos e a distribuição de edificações residenciais existentes no município, possibilitando a redução de sua variabilidade. A correlação entre os projetos-padrão – que foram utilizados nas simulações de implantação dos dispositivos hidráulicos economizadores – e os domicílios existentes foi realizada conforme as particularidades das edificações unifamiliares (casas) e multifamiliares (edifícios de apartamentos), de acordo com as características da base de dados, ressaltando que são primordiais nas análises do potencial de economia de água potável em escala municipal.

No caso das edificações residenciais unifamiliares, o principal parâmetro disponível na base de dados é a área de projeção de cobertura (área de captação de água de chuva), pois é

fundamental nas avaliações do potencial de aproveitamento de água de chuva, tendo sido suficiente para realizar as correlações necessárias entre as casas existentes no município e os projetos-padrão unifamiliares.

No caso das edificações multifamiliares, a base de dados possui cinco parâmetros: área total de construção, área de projeção de cobertura, número de pavimentos, altura do edifício e número de inscrições cadastrais vinculadas ao edifício, variável que corresponde ao número de unidades privativas (apartamentos). Dentre elas, a variável *área de projeção de cobertura* também foi fundamental nas análises. Contudo, os projetos-padrão de edifícios residenciais adotados neste trabalho apresentam áreas de projeção de cobertura muito próximas entre si, conforme descrito no Anexo 1, fato que dificulta o uso apenas dessa variável nas análises de enquadramento com os edifícios existentes. Tornou-se necessário, portanto, considerar também a *altura dos edifícios* como segunda variável nas análises de enquadramento das edificações residenciais multifamiliares conforme esquematizado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Enquadramento de edificações multifamiliares e projetos-padrão



Assim, além dos procedimentos descritos quanto à análise das áreas de cobertura, utilizou-se o aerolevantamento à laser processado pela Secretaria Municipal Adjunta de Planejamento Urbano da PMBH, atualizado em 2011, visando estimar a altura e número de pavimentos do edifícios, considerando-se, como padrão usual, 3 metros de altura por pavimento. Salienta-se que o número de pavimentos está relacionado ao número de unidades residenciais, à população que ocupa o edifício e, por consequência, à estimativa de consumo de água.

4.2.5 Tarifação de água

A tarifação de água também constitui importante parâmetro no presente estudo. Está relacionada diretamente às análises financeiras dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, bem como ao uso doméstico de aparelhos economizadores e medição individualizada de água em edifícios. Por tal motivo, é relevante nas análises financeiras (custo-benefício) referentes à implantação residencial dos sistemas hidráulicos estudados neste trabalho.

A estrutura tarifária domiciliar de água vigente em Belo Horizonte, aprovada pela Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE-MG)⁸, é definida segundo blocos (faixas) de consumo, conforme conceituado também por Thompson *et al.* (1995) e está apresentada no Anexo 2 desse texto, possuindo as seguintes características:

- Composta de tarifas fixas (R\$/mês) para consumo até 6 m³/mês e tarifas variáveis (R\$/m³) para diferentes intervalos de consumo (C, em m³): $6 < C \leq 10$, $10 < C \leq 15$, $15 < C \leq 20$, $20 < C \leq 40$, $C > 40$. A tarifa total é a soma das tarifas fixa e variável;
- Distingue as diferentes classes de consumo residencial: (i) Tarifa social até 10 m³; (ii) Tarifa social maior que 10 m³; (iii) Até 10 m³ e (iv) Maior que 10 m³;
- Distingue os locais conforme disponibilidade de sistema de tratamento de esgoto. Computou-se a opção tarifária com tratamento, visto que cerca de 73% do esgoto coletado no município de Belo Horizonte recebe tratamento (BRASIL, 2014).

A tarifa (custo) de água tratada fornecida pela COPASA é calculada por meio da Equação 4.2.

$$T = TF + TV \times C \quad \text{(Equação 4.2), onde:}$$

T: Tarifa mensal de água (R\$)

TF: Tarifa fixa, que corresponde a um valor mensal mínimo a ser pago à concessionária (R\$)

TV: Tarifa de aplicação variável, em função do volume consumido (R\$/m³)

C: Volume mensal consumido (m³), devendo-se notar que o consumo até 6 m³/mês está contemplado na tarifa fixa, conforme conceituado anteriormente.

Em linhas gerais, a tarifa de água (T) foi aplicada na pesquisa das seguintes formas e estão detalhadas nos itens específicos da metodologia:

a. Análises financeiras (análise de investimento ou custo-benefício):

A tarifa de água foi aplicada nas análises financeiras como benefício, ou seja, os valores correspondentes à economia realizada por meio do uso dos dispositivos hidráulicos estudados.

⁸ Fonte: Resolução ARSAE-MG 49/2014 www.arsae.mg.gov.br, acesso em 04/06/2014.

Para os sistemas de aproveitamento de água de chuva, foram considerados também os valores correspondentes ao custo da água potável, fornecida pela prestadora de serviços e que foi utilizada para fins não potáveis no domicílio. Neste caso, foi computado como uma “deficiência” do sistema, cujo objetivo, a priori, é fornecer água suficiente para fins não potáveis para a residência e que, eventualmente, não o fará, devido a fatores como demandas e sazonalidade da chuva.

b. Dimensionamento do reservatório para armazenamento de água de chuva (determinação do *volume ótimo*), na curva “Custo do sistema x volume do reservatório”, conforme metodologia a ser detalhada na seção referente ao dimensionamento do sistema.

4.2.6 Reajustes tarifários e inflacionários

Nas projeções financeiras (horizonte de 20 anos), aplicaram-se os seguintes reajustes anuais:

- Para a tarifa de água: reajustes anuais iguais a 6%, média entre os anos de 2011 a 2014, conforme resoluções da ARSAE-MG.
- Para a tarifa de energia elétrica: reajustes anuais conforme índices fixados pelas agências reguladoras, de 5,2%, correspondente à média entre os anos 2007 e 2014, segundo a CEMIG e Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)⁹.
- Para os demais custos: reajustes inflacionários conforme o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA)¹⁰, por ser o indexador oficial do Governo Federal para medição da inflação, cuja média simples, entre 1997 e 2013, é de cerca de 6% ao ano.

4.3 Aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais

O presente item destina-se a apresentar os principais aspectos referentes aos sistemas de aproveitamento de água de chuva, dentre os quais:

- Técnicos: funcionamento típico e componentes do sistema (área de coleta de água de chuva, dispositivos de tratamento da água, reservatórios, dentre outros);
- Financeiros: custos referentes à implantação, manutenção e operação do sistema;

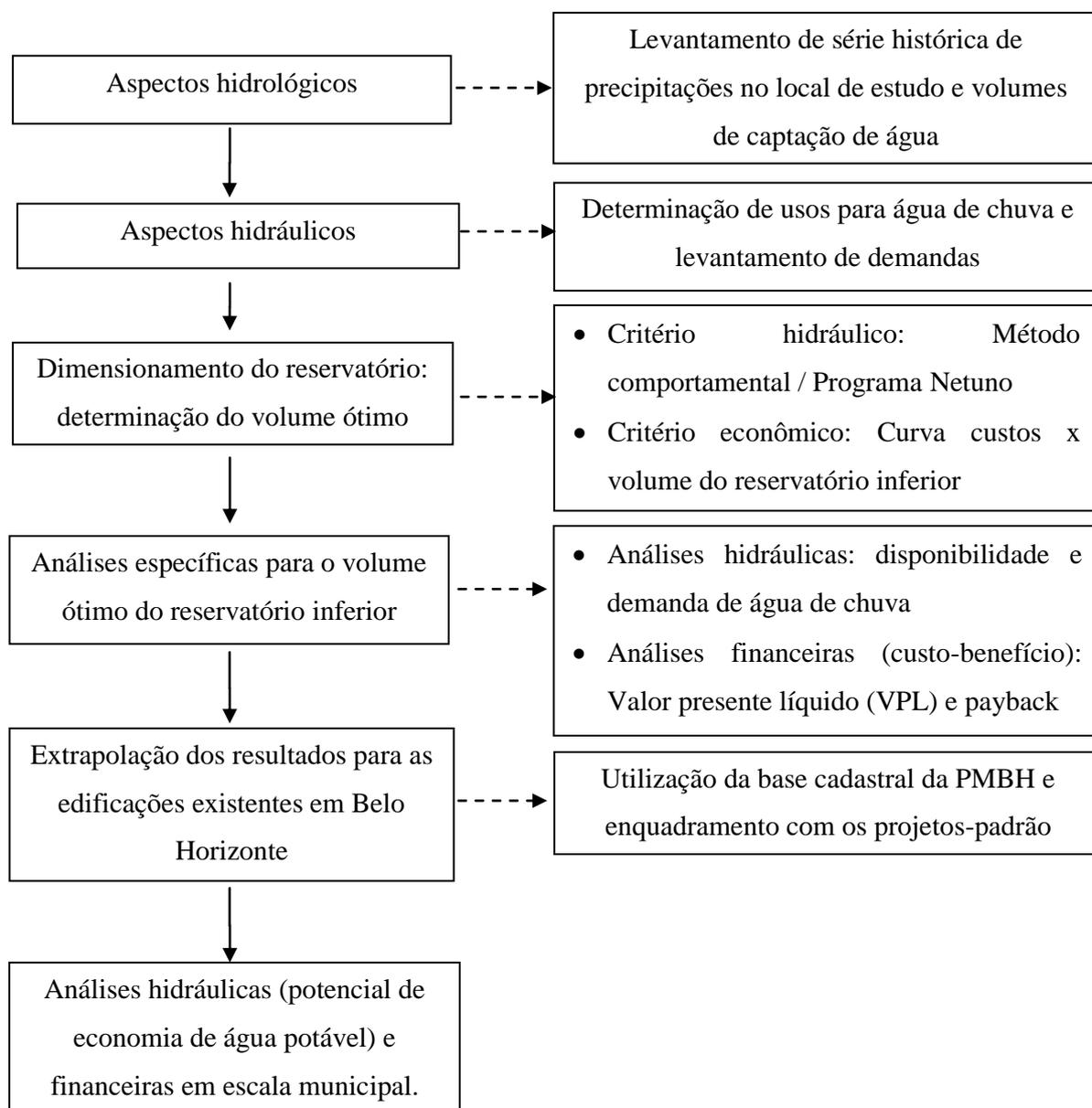
⁹ Fonte: http://www.cemig.com.br/sites/Imprensa/pt-br/Paginas/Reajuste_Tarifario.aspx, acesso em 04/06/2014.

¹⁰ Fonte: <http://www.portalbrasil.net/ipca.htm>, acessado em 08/07/2014.

- Hidrológicos: refere-se à base de dados de precipitações pluviométricas utilizada nas simulações de funcionamento do sistema;
- Estimativas de demanda residencial de água não potável;
- Dimensionamento do reservatório de estocagem de água de chuva;
- Análises hidráulicas a partir dos resultados das simulações realizadas.

O fluxograma da Figura 4.5 descreve a metodologia a ser desenvolvida nas análises do aproveitamento de águas de chuva como uma das alternativas de oferta de água não potável para uso residencial, possibilitando, por consequência, a redução do consumo de água potável.

Figura 4.5 – Fluxograma metodológico referente ao aproveitamento de água de chuva

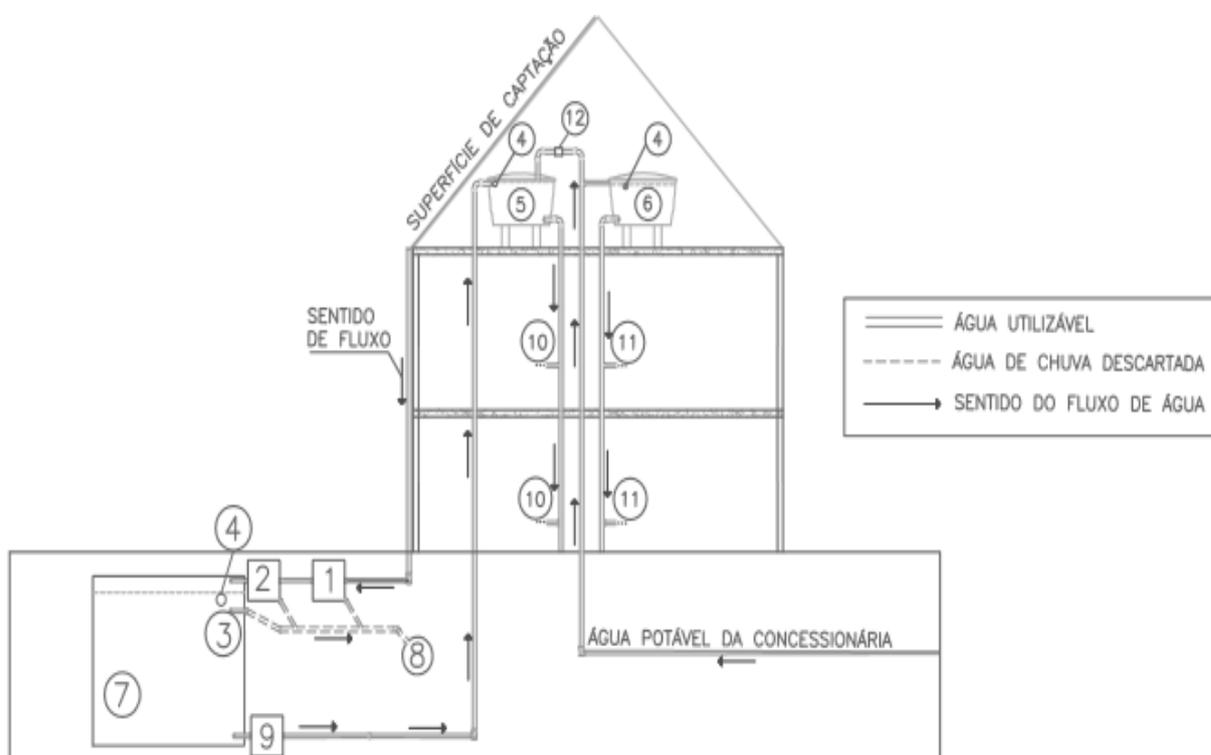


4.3.1 Aspectos técnicos gerais

A Figura 4.6 apresenta um sistema típico de aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais. Os principais componentes são, conforme ABNT (2007):

- Área de captação, que deve permitir o rápido escoamento das águas;
- Tubulações, cuja principal função é transportar a água de chuva a partir da área de coleta;
- Dispositivos de descarte do escoamento inicial (*first flush*) e de tratamento simplificado;
- Reservatórios de armazenamento inferior e superior, para estocagem da água de chuva.

Figura 4.6 – Esquema típico de sistema de aproveitamento de água de chuva



Fonte: Adaptado de Rocha (2009) e Roebuck *et al.* (2011)

Legenda: (1) Filtro para descarte de folhas e partículas sólidas; (2) Dispositivo para desvio do escoamento inicial (*“first flush”*); (3) Extravasor; (4) Boia para controle de nível; (5) Reservatório superior de água de chuva; (6) Reservatório superior de água potável, abastecido pelo sistema público (concessionária); (7) Reservatório inferior de água de chuva; (8) Sistema de drenagem pluvial, que recebe água diretamente dos pontos 1, 2 e 3; (9) Conjunto motobomba; (10) Ponto de consumo de água não potável; (11) Ponto de consumo de água potável; (12) Válvula solenoide, para controle da vazão no reservatório de água de chuva.

Considerou-se, genericamente, o sistema em que a água de chuva é captada no telhado da edificação, conduzida ao dispositivo de descarte do escoamento inicial (*first flush*) e ao

reservatório inferior. Em seguida, é recalçada por conjunto moto-bomba para o reservatório superior de água não potável, o qual funciona em paralelo ao reservatório de água potável fornecida pela prestadora de serviços de saneamento. A água não potável oriunda do sistema de aproveitamento é armazenada no reservatório superior e distribuída, por gravidade, aos pontos de consumo. A figura 4.6 apresenta um esquema ilustrativo do sistema, salientando-se que há a possibilidade do ponto de captação da água de chuva no telhado localizar-se em cota superior ao reservatório, devendo ser consideradas, nesse caso, a adequada instalação dos dispositivos de descarte do volume inicial de água de chuva e os de tratamento.

Outro tópico importante refere-se ao controle de fluxo entre os reservatórios superiores. Rocha (2009) indica que, quando não há suficiência de água de chuva a ser bombeada do reservatório inferior para o superior, uma válvula solenoide, controlada por chave de nível, conforme indicado na Figura 4.6, permite a liberação do volume necessário de água potável no reservatório de água de chuva, suprimindo a demanda de água para fins não potáveis.

Os reservatórios de água são os componentes mais importantes do sistema de aproveitamento (COHIM *et al.*, 2008; MORUZZI *et al.*, 2012; GOMES *et al.*, 2010). Destacam-se três tipos principais de reservatório inferior para acumulação de água de chuva, sendo que algumas vantagens e desvantagens estão descritas na Tabela 4.2: (i) Reservatório de polietileno ou fibra de vidro, sobreposto ao solo; (ii) Reservatório enterrado de concreto armado e (iii) Reservatório enterrado de polietileno reforçado (tipo cisterna). No Anexo 3 estão apresentados modelos e esquemas de instalação de alguns tipos de reservatórios para água de chuva, bem como diferentes tipos de acessórios necessários ao funcionamento do sistema.

Tabela 4.2 – Tipos de reservatórios de aproveitamento de água de chuva

| Tipo | Vantagens | Desvantagens |
|--|--|--|
| Polietileno, sobreposto ao solo | Custo reduzido; facilidade para instalação e manutenção, elevada durabilidade, boa disponibilidade no mercado | Qualidade de água inferior (possíveis danos pela exposição do reservatório à radiação solar); aspectos estéticos e espaço reduzido para instalação |
| Concreto armado, enterrado no solo | Flexibilidade na escolha do volume, espaço liberado na superfície do terreno | Custo elevado, maior dificuldade de manutenção, requer cuidados com a escavação |
| Polietileno, enterrado no solo (tipo cisterna) | Disponibilidade de espaço na superfície do terreno, maior rapidez na execução em relação ao de concreto armado | Custo elevado, maior dificuldade de manutenção, menos opções na escolha do volume, requer cuidados quanto à escavação |

Fonte: Elaboração própria

Além do reservatório de armazenamento de água, é necessário mencionar ainda o parâmetro denominado coeficiente de escoamento e outros dois outros importantes componentes do sistema, descritos a seguir:

a. Coeficiente de escoamento

O volume de água de chuva a ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado, devido à evaporação que ocorre nos telhados, sendo necessário aplicar o coeficiente de escoamento superficial (coeficiente de *runnoff*) (C), parâmetro que depende do tipo de cobertura e definido como o quociente entre a água que esco superficialmente e o total de água precipitada (TOMAZ, 2011b; ABNT, 2006). A Tabela 4.3 descreve alguns valores de (C):

Tabela 4.3 – Coeficientes de escoamento (*runoff*) usuais

| Material | Coeficiente de <i>runoff</i> médios |
|--|-------------------------------------|
| Telhas cerâmicas | 0,8 a 0,9 |
| Telhas esmaltadas / plástico | 0,9 a 0,95 |
| Telhas corrugadas de metal / cimento amianto | 0,8 a 0,9 |

Fonte: Adaptado de Tomaz (2011b)

b. Dispositivo de descarte do escoamento inicial (“*first flush*”)

A primeira chuva pode estar com elevada turbidez devido ao acúmulo de resíduos – deposições secas, material particulado, resíduos de combustão, dejetos de animais, folhas, dentre outros – na superfície de captação e deve ser descartada automaticamente através de dispositivos de autolimpeza, que estão ilustrados no Anexo 3. Reiber (2012) sugere o descarte do 1º milímetro a cada unidade de área da superfície de captação reduz satisfatoriamente a turbidez da água captada, valor indicado também por Tomaz (2011b) e Gomes *et al.* (2010).

c. Sistema de tratamento e qualidade da água

O tipo de tratamento a ser dispensado à água de chuva armazenada depende fundamentalmente dos usos pretendidos. Tendo em vista que no presente trabalho supõem-se usos não potáveis, listados na seção referente às estimativas de demanda residencial, considerou-se suficiente como sistema de tratamento a combinação do descarte de escoamento inicial (“*first flush*”) e a filtração da água de chuva. A filtração é um dos principais processos de tratamento e consiste na remoção da turbidez, cuja presença reduz a eficácia da desinfecção, considerando para tal a aplicação de cloro (REIBER, 2012; MAY, 2009). Para o dimensionamento do sistema, a filtração requer a aplicação de coeficiente que leve em consideração o volume de água de chuva que efetivamente passa pelo sistema

filtrante. Tal valor é normalmente fornecido pelo fabricante do dispositivo filtrante e pode ser assumido na ordem de 90% (0,9), de acordo com Tomaz (2011b) e Reiber (2012).

4.3.2 Parâmetros financeiros

4.3.2.1 Custo de implantação

O custo de implantação dos sistemas foi calculado a partir da composição de preços e serviços, a partir de consulta à literatura, notadamente TCPO (2010) e SINAPI (2012), além do levantamento dos custos de mão-de-obra e dos insumos em estabelecimentos comerciais no local de estudo, tomando-se como referência o ano de 2014.

Dentre os diversos componentes dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, conforme já mencionado, o mais dispendioso é o reservatório inferior (COHIM, *et al.*, 2008; MORUZZI *et al.*, 2012; GOMES *et al.*, 2010), motivo pelo qual concentrou-se maior atenção a esse item.

Foram quantificados e orçados os insumos para cada tipo de reservatório descrito na Tabela 4.2 e para diferentes volumes, observando-se as diretrizes dos manuais de fabricação dos reservatórios. São listados a seguir os principais serviços e insumos orçados, comuns a todos os tipos de reservatórios: (i) Serviços iniciais (m^2): limpeza de terreno, locação da obra e sondagem; (ii) Serviços hidráulicos: mão-de-obra, tubos, conexões, registros, válvulas, reservatórios inferior e superior (polietileno); (iii) Serviços elétricos: mão-de-obra, conjunto motobomba (até 1 cv), cabos, eletrodutos, disjuntores e quadros de comando; (iv) Itens diversos: escada e alçapão para acesso ao reservatório, filtros e acessórios gerais do sistema de aproveitamento. Além desses, há alguns serviços e insumos específicos para cada tipo de reservatório, conforme descrito na Tabela 4.4. O Apêndice 1 apresenta os custos de implantação, os quais são abordados com mais detalhes.

Tabela 4.4 – Insumos considerados na construção dos diferentes tipos de reservatório

| Tipo de reservatório | Insumos considerados para construção dos reservatórios |
|------------------------------------|---|
| Concreto armado, enterrado no solo | i) Escavação, transporte e apiloamento manual de solo (m^3); (ii) Lastro de brita (m^3) e de concreto magro (m^3); (iii) Concreto fabricado <i>in loco</i> , fck = 18 MPa (m^3); (iv) Corte e montagem de aço CA-50 (kg); (v) Fôrma de madeira (m^2); (vi) Impermeabilização interna (m^2). |
| Polietileno, enterrado no solo | (i) Escavação, transporte e apiloamento manual de solo (m^3); (ii) Lastro de brita (m^3) e de concreto magro (m^3), para base de assentamento do reservatório (m^3); (iii) Corte e montagem de aço CA-50 (kg). |
| Polietileno, sobreposto ao solo | (i) Lastro de brita (m^3) e de concreto magro (m^3) (para o assentamento do reservatório); (ii) Corte e montagem de aço CA-50 (kg). |

Fonte: Elaboração própria

4.3.2.2 Custos operacionais e de manutenção

À implantação dos sistemas de aproveitamento estão associados custos de manutenção e de operação, os quais também foram computados nas análises de viabilidade financeira:

- *Custos de manutenção (anuais)*: Eventuais substituições de acessórios do sistema e limpeza anual dos reservatórios, cujos custos decorrem do uso de materiais básicos e de mão-de-obra.
- *Custos operacionais (mensais)*:
 - Água a ser adquirida junto à concessionária, que suprirá as demandas de água não potável na residência, considerando as deficiências do sistema;
 - Tratamento de água com cloro, estocada no reservatório, visando à desinfecção básica;
 - Energia elétrica utilizada pelo conjunto motobomba, quantificada a partir das simulações de funcionamento do sistema, em função da água a ser recalado do reservatório inferior para o superior. Considerou-se o custo energético na ordem de R\$0,6/kWh.

4.3.3 Aspectos hidrológicos

Objetivando as simulações de aproveitamento de água de chuva, levantou-se a série histórica de precipitações em Belo Horizonte a partir dos registros da Estação Pluviométrica Caixa de Areia, operada pela Agência Nacional das Águas (ANA), localizada no Parque das Mangabeiras, latitude -19,93°, Longitude -43,93° e altitude 915 m. Os registros diários abrangeram o período de 02/01/1988 a 31/12/2012, perfazendo 25 anos (9.115 dias) e foram obtidos em *hidroweb.ana.gov.br*. A referida série foi utilizada na determinação dos volumes de captação de água de chuva e, devido às suas características, foram possíveis os cálculos em base diária. É necessário ressaltar que não foram consideradas as interferências das mudanças climáticas nos regimes de chuvas, tendo em vista a variabilidade das projeções, em função dos modelos utilizados e das regiões analisadas.

A expressão básica de cálculo do volume captado é dada pela equação 4.3 (ABNT, 2007):

$$V = P \times A \times C \times \eta_{\text{fator de captação}} \quad (\text{Equação 4.3})$$

Onde:

V: Volume captado, m³/dia;

P: Precipitação diária, em mm, conforme dados registrados pela Estação Caixa de Areia;

A: Área de coleta de água, em m², conforme as áreas de cobertura (telhados) das edificações residenciais descritas pelos projetos-padrão, detalhados no Anexo 1;

C: Coeficiente (adimensional) de escoamento superficial da cobertura (*runoff*);

$\eta_{\text{fator de captação}}$: Eficiência do sistema de captação (adimensional), levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e desvio do escoamento inicial (*first flush*).

As simulações de aproveitamento de água de chuva para atendimento às demandas residenciais de água não potável foram desenvolvidas por meio do programa computacional Netuno (GHISI e CORDOVA, 2014), a partir do qual geraram-se os resultados e discussões. O uso do referido programa está detalhado no item referente ao dimensionamento do sistema.

4.3.4 Estimativas de demanda residencial de água não potável

Considerando as exigências sanitárias e padrões de qualidade de água preconizados na Portaria n°. 518, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), optou-se por não utilizar a água de chuva para fins que requeiram a potabilidade, tais como: higiene pessoal, preparo de alimentos e ingestão.

As estimativas de demanda residencial de água não potável estão relacionadas diretamente aos usos potenciais de água de chuva, cujas simulações visaram ao atendimento das seguintes demandas: i) vasos sanitários (válvula de descarga e caixa de descarga de duplo acionamento – dual flush); (ii) irrigação de áreas verdes (jardins) e (iii) lavagem de piso em geral (interno e externo), em áreas de uso privativo e áreas de uso comum. Tais usos são os mais aceitos e podem ser implementados através de tratamentos simplificados da água de chuva, conforme May (2009), Li *et al.* (2010), Roebuck *et al.* (2011) e Domenech e Sauri (2011). A opção de uso de água de chuva em máquinas de lavar, não obstante ser mencionada em pesquisas como as desenvolvidas por Roebuck *et al.* (2011) e Fisher-Jeffes (2015), não foi considerada nesta pesquisa, pois acarreta em requisitos de qualidade superiores aos usos mencionados.

4.3.4.1 Descarga de vasos sanitários

O volume de descarga em vasos sanitários é dado pela equação 4.4:

$$V_{\text{banheiro}} = N_{\text{moradores}} \times N_{\text{uso banheiro}} \times V_{\text{descarga}} \quad (\text{Equação 4.4})$$

Onde:

$N_{\text{moradores}}$: Número de moradores por residência, sendo considerada a média de 3 moradores, conforme dados de IBGE (2010);

$N_{\text{uso banheiro}}$: Número de usos de descarga sanitária por dia, variando de acordo com fatores como permanência dos moradores na residência, seus hábitos pessoais e condições de saúde. Foram considerados 4 usos por dia durante a semana e 6 vezes por dia durante fins de semana, conforme estimativa de Roebuck *et al.* (2011). Tais frequências estão em concordância com a média utilizada por Moruzzi *et al.* (2012) e Ghisi *et al.* (2007a);

V_{descarga} : Foram considerados dois dispositivos de descarga sanitária: (i) caixa acoplada de duplo acionamento – *dual flush* – (3 litros/descarga e 6 litros/descarga) e (ii) válvula, com 9 litros/descarga, conforme indicado por Tomaz (2011b).

A Equação 4.3 foi desenvolvida nas quatro opções abaixo, conforme a frequência de uso e o dispositivo de descarga, para cálculo de V_{banheiro} per capita:

- V_{banheiro} (válvula de descarga, durante a semana).....: 36 litros/pessoa x dia
- V_{banheiro} (válvula de descarga, durante fins de semana).....: 54 litros/pessoa x dia
- V_{banheiro} (caixa de descarga de duplo acionamento, durante a semana).....: 24 litros/pessoa x dia
- V_{banheiro} (caixa de descarga de duplo acionamento, durante fins de semana).....: 36 litros/pessoa x dia

4.3.4.2 Irrigação de áreas verdes (jardins)

Utilizou-se o parâmetro proposto por Gonçalves (2009), no âmbito do PROSAB 5, também adotado por Reiber (2012), o qual indica que o volume médio diário a ser utilizado para irrigação de jardins, cujas áreas estão descritas nos Anexo 1, é de 3 litros/m² x dia, considerando-se o uso de água para irrigação nos dias com precipitação inferior a 2 mm.

4.3.4.3 Limpeza de áreas internas e externas

Duquesnoy (2009) indica que a água consumida para limpeza depende principalmente do material do piso e da área da superfície, as quais estão descritas, para cada projeto-padrão, nos Anexos 1 e 2. Utilizaram-se os seguintes valores nos cálculos de demanda de água não potável, em litros / m², ocorrendo com periodicidade semanal (DUQUESNOY, 2009 e REIBER, 2012):

- Lavagem de banheiros: 10 litros/m²;

- Lavagem do restante dos cômodos internos da residência: 1,5 litros/m²;
- Lavagem da área impermeável externa: 2,2 litros/m².

4.3.4.4 Demandas de água não potável consideradas na pesquisa

Para cada um dos projetos-padrão residenciais unifamiliares (casas) e multifamiliares (edifícios de apartamentos), foram realizadas simulações hidráulicas de aproveitamento de água de chuva para duas opções de demanda de água não potável, as quais foram quantificadas no capítulo de resultados. A primeira opção incorporou a renda familiar, como determinante no consumo domiciliar de água e a segunda, considerou as características construtivas da edificação (área construída, dimensões estimadas do lote), conforme detalhado a seguir:

a. Opção 1: Em função das classes socioeconômicas das famílias residentes na edificação:

Neste caso, utilizou-se a curva de consumo per capita versus renda, desenvolvida por Dias *et al.* (2014). Baseado no consumo de água potável em função da renda das famílias, calculou-se a demanda de água potável e, a partir dessa, a demanda de água não potável conforme indicações obtidas na revisão de literatura.

b. Opção 2: Em função das estimativas de uso na edificação

A partir da caracterização e quantificação dos usos, estimou-se o volume de água necessário para atender às demandas domiciliares não potáveis para cada um dos projetos-padrão ao longo do período estudado, ou seja, 25 anos (9.115 dias), igual à série histórica de precipitações utilizada na pesquisa. Assim, calculou-se a demanda de água não potável para:

- Irrigação de jardins (áreas verdes) exclusivamente nos dias com precipitação pluviométrica inferior a 2 mm;
- Lavagem de piso (interno e externo). Para os edifícios, computou-se a lavagem de pisos em áreas comuns (hall, circulação, áreas de lazer, dentre outros) e privativas (áreas internas dos apartamentos).
- Descarga em vasos sanitários, considerando as duas possibilidades (válvula de descarga e caixa de descarga de duplo acionamento – *dual flush*), diferenciando-se o número de acionamentos das descargas para os dias de semana e de finais de semana.

4.3.5 Dimensionamento do reservatório inferior

Conforme já mencionado, o dimensionamento hidráulico do reservatório inferior é uma das etapas mais relevantes na implantação de sistema de aproveitamento de água de chuva (MAY, 2009; ROEBUCK *et al.*, 2011; MORUZZI *et al.*, 2012; MURÇA *et al.*, 2014), considerando o potencial de aproveitamento de água de chuva, que é diretamente proporcional à capacidade do reservatório. Moruzzi *et al.* (2012) afirmam que a escolha do método de dimensionamento mais adequado é importante no estudo de viabilidade financeira do sistema de aproveitamento de água pluvial e pressupõe a determinação da demanda a ser atendida, considerando o regime de precipitações e a disponibilidade de água tratada, fornecida pela concessionária.

Foram abordadas na revisão de literatura diferentes métodos de dimensionamento do sistema, destacando-se a NBR 15.527/2007 (ABNT, 2007), além do modelo comportamental, o qual foi utilizado no presente trabalho, operacionalizado por meio do Programa Computacional Netuno (GHISI e CORDOVA, 2014).

a. Método Comportamental:

A simulação operacional do reservatório inferior é realizada por meio do princípio de transferência de massa, simulando-se o funcionamento do mesmo ao longo do tempo, sob determinadas condições de operação, através de um algoritmo que descreve o funcionamento do sistema de aproveitamento ao longo de um período de tempo (ROEBUCK e ASHLEY, 2006; FEWKES, 1999; ROCHA, 2009). Conforme Anecchini (2005), os dados de entrada utilizados para simular o fluxo de massa no modelo são baseados em intervalos de tempo que podem ser de minutos, horas, dias ou meses, sendo que, quanto menor for o intervalo de tempo utilizado na modelagem, mais confiável e econômico será o dimensionamento. Os algoritmos mencionados consideram o armazenamento após o consumo (yield after storage – YAS) e antes do consumo (yield before storage – YBS) e foram desenvolvidos por Jenkins *et al.* (1978), citados por Fewkes (1999), Anecchini (2005) e Rocha (2009).

b. Programa Computacional Netuno:

Utilizou-se, no desenvolvimento das simulações hidráulicas e no dimensionamento dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, o programa computacional Netuno, elaborado no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da Universidade Federal de Santa Catarina (GHISI *et al.*, 2006; GHISI e CORDOVA, 2014). Segundo os autores, o Netuno é útil para a simulação de sistemas de captação de águas pluviais, tendo sua metodologia baseada no modelo comportamental. Destacam-se ainda a possibilidade de uso de série

histórica de precipitações em base diária, a operação simples e abrangência de resultados gerados, tais como: potencial de economia de água potável por meio do uso de água pluvial para uma determinada capacidade de reservatório e o volume extravasado de água pluvial. Permite também a realização de análises econômicas para o sistema simulado, obtendo-se estimativas dos custos e economias envolvidos.

O programa encontra-se em sua 4ª versão e seu algoritmo foi validado por Rocha (2009), que utilizou dados reais de consumo de água potável e de chuva, precipitações pluviométricas e de variação de nível de água de um reservatório de uma residência experimental localizada em Florianópolis – SC. Os dados de precipitação utilizados pelo Netuno são fornecidos em base diária, permitindo análise do comportamento sazonal do sistema. A água de chuva que escoou pela superfície de captação, descontadas as perdas, é conduzida ao reservatório de armazenamento. Se a capacidade do reservatório é excedida, ocorre o extravasamento da água para o sistema público. A demanda de água não potável é atendida parcial ou totalmente pela concessionária de água potável, de acordo com o volume ofertado e estocado de água de chuva. Foi relacionado um custo operacional à água fornecida pela concessionária e utilizada na residência em decorrência de incapacidade de provimento pelo sistema de captação de água de chuva. Tal custo foi incorporado às análises financeiras de viabilidade do sistema.

4.3.5.1 Determinação de volume ótimo por meio de critérios hidráulicos

O potencial de aproveitamento de água de chuva é diretamente proporcional à capacidade do reservatório inferior, sendo necessário considerar o impacto dos custos na viabilidade financeira dos sistemas. Foram realizadas simulações utilizando-se o programa Netuno visando obter, para cada projeto-padrão, o volume ótimo (ideal) do reservatório inferior, de forma a maximizar a substituição de água potável por água de chuva para fins não potáveis, a um menor custo.

O critério básico de determinação do volume ótimo (ideal) do reservatório inferior do sistema de aproveitamento de água de chuva baseia-se na curva “*potencial de economia de água potável x volume do reservatório*”, a partir da qual é calculada a diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva (Δ_{ideal}). O referido critério, que é utilizado no programa Netuno, está detalhada no Apêndice 2. As variáveis utilizadas no programa Netuno encontram-se explicitadas no manual do usuário¹¹ e estão listados na Tabela 4.5.

¹¹Manual do usuário / Netuno - Versão 4, disponível em <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/netuno>

Tabela 4.5 – Dados de entrada do programa Netuno

| Dados de entrada | Descrição e valores adotados (ver Apêndice 2) |
|--|--|
| Dados de precipitação | Altura diária e precipitação, em mm, para a série histórica adotada, compatibilizada para uso no programa |
| <i>First flush</i> (descarte do escoamento inicial) | Descarte do 1º milímetro de precipitação |
| Área de captação | Áreas de cobertura (telhado) dos projetos-padrão, em m ² (Anexo 1) |
| Número de moradores na residência | Média de número de moradores por domicílio para Belo Horizonte, segundo dados censitários (IBGE, 2010) |
| Demanda domiciliar total diária de água | Opção 1: Demanda fixa total de água em função das classes socioeconômicas, conforme modelo proposto por Dias <i>et al.</i> (2014) |
| | Opção 2: Demandas variáveis de água não potável, simuladas para cada projeto-padrão |
| Percentual da demanda total a ser suprida por água de chuva | O percentual de demanda foi determinado considerando-se as duas opções de demandas de água não potável: <i>fixas</i> , em função das classes socioeconômicas e <i>variáveis</i> , em função das características físicas das edificações residenciais. |
| Coefficiente de escoamento superficial | Foram considerados telhados de fibrocimento ou de cerâmica |
| Reservatório superior | Instalação de reservatório superior: atendimento às demandas diárias |
| Reservatório inferior, com indicação do volume ideal (ótimo) | - Volume máximo: 10.000 litros; - Intervalo entre volumes: 500 litros; - Diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva (Δ_{ideal}): 5 % / m ³ , conforme detalhado no Apêndice 2. |

Fonte: Elaboração própria, a partir de Ghisi e Cordova (2014)

4.3.5.2 Determinação de volume ótimo por meio de critérios econômicos

O critério econômico foi utilizado na comparação com o volume ótimo (ideal) calculado pelo critério hidráulico. Para tanto, foram utilizadas as curvas com os “custos totais x volume do reservatório inferior”, baseado na análise econômica para projetos hidrológicos proposta por Chow *et al.* (1988), que sugere a realização de uma análise conjunta por meio de cálculos financeiros e análises gráficas, conforme ilustrado na Figura 4.9.

Na Figura 4.9, os custos de implantação e operação de um sistema hipotético de coleta de água de chuva, bem como os custos do uso de água potável para fins não potáveis são calculados em função do volume do reservatório inferior de armazenamento de água de chuva. A hipótese subjacente a esse método é a de que os custos de implantação e de operação do sistema coletor de água de chuva aumentam com o aumento do volume do reservatório inferior. Por outro lado, uma maior capacidade de acumulação de água de chuva aumenta a

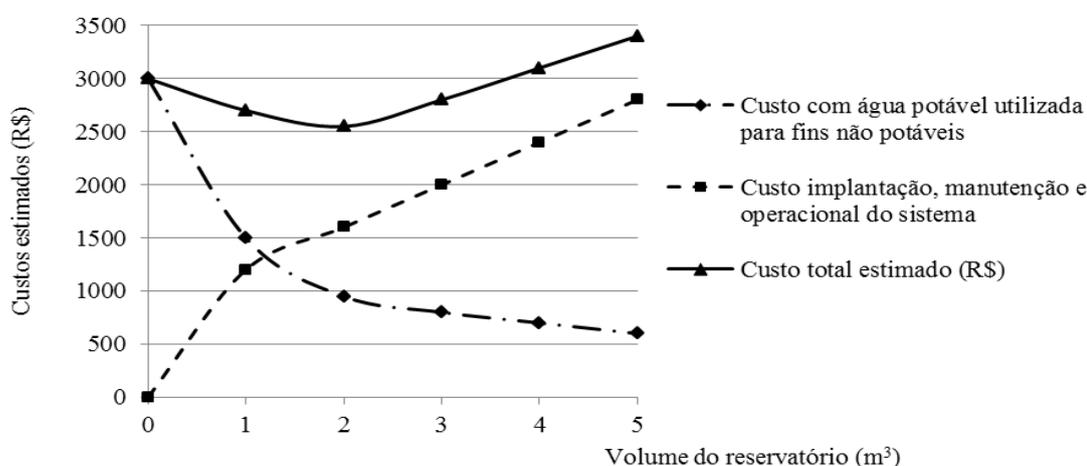
sua oferta para fins não potáveis, reduzindo os custos de utilização de água potável para tais fins. A otimização do sistema se dá para o menor custo total resultante da adição desses dois custos operacionais. De forma mais detalhada, esses custos são:

- Custo de implantação, manutenção e operação do sistema por um período de 20 anos: grandeza diretamente proporcional ao volume do reservatório, na qual foram lançados os custos operacionais e de manutenção, somando-os para os 240 meses.
- Custo com água potável, fornecida pela concessionária, para suprir a demanda de água não potável não atendida pelo sistema no período de 20 anos: grandeza inversamente proporcional ao volume do reservatório.

Sobre os dois itens incidiram-se os reajustes tarifários e inflacionários, conforme descrito anteriormente.

A soma das duas curvas resulta na curva de custo total, na qual o ponto mínimo (menor custo total ou a região onde há permanência de custo mínimo), é um indicativo do volume ótimo do reservatório inferior sob o critério econômico. Salienta-se que tais gráficos não objetivam a análise de custo-benefício de um tal sistema, mas representam um critério para a determinação do volume ideal do reservatório. A Figura 4.7 representa o aspecto dos gráficos para aplicação do critério a cada projeto-padrão, ressaltando-se que os custos descritos são estimativos, apenas para representação ilustrativa. Verifica-se que, para o caso exemplificado, o volume ótimo é de 2 m³, correspondente ao custo total mínimo de aproximadamente R\$2.500,00.

Figura 4.7 – Aspecto ilustrativo das curvas para determinação do volume ótimo do reservatório utilizando critério econômico



Fonte: Elaboração própria, para fins meramente ilustrativos, não referindo-se a dados reais.

4.3.6 Análises hidráulicas

Os resultados hidráulicos obtidos nas simulações de aproveitamento de água de chuva foram analisados principalmente quanto ao potencial de economia de água potável (PEC, em %) e à disponibilidade de água não potável, considerando a sazonalidade, o perfil de consumo total de água em função das classes socioeconômicas e padrões construtivos das edificações. A partir das simulações para determinação do volume ótimo do reservatório inferior, foram calculados também, para cada projeto-padrão:

- (i) A média diária do volume consumido de água de chuva (VC, em litros/dia): volume efetivamente aproveitado na residência, o qual foi utilizado nas extrapolações de potencial de redução do consumo de água potável em larga escala;
- (ii) A média diária do volume extravasado de água de chuva (VE, em litros/dia): volume que não foi aproveitado na residência, o qual foi destinado à rede pública de drenagem.

4.4 Aparelhos hidráulicos economizadores

A presente pesquisa considerou a utilização dos seguintes dispositivos hidráulicos economizadores: arejadores, redutores de vazão e descarga de duplo acionamento. No Anexo 4 estão apresentadas características e especificações técnicas de tais equipamentos. Cumpre salientar que também é possível reduzir o consumo de água potável por meio do controle da pressão e vazão nas instalações hidráulicas prediais, desde que não haja desconforto aos usuários. A referida alternativa, que não foi avaliada nesse trabalho, deve ser analisada, preferencialmente, na fase de elaboração do projeto hidráulico. Conforme já mencionado, as características geométricas e dimensionais dos vasos sanitários exercem importante função na quantidade de água a ser descarregada, definindo assim o volume de descarga necessário

A Figura 4.8 descreve o método, elaborado com base na revisão de literatura (KALBUSCH, 2011; SANT'ANNA, 2011; VIEIRA, 2012; GUEDES, *et al.*, 2014), para determinação do potencial de redução do consumo domiciliar de água por meio do uso de aparelhos hidráulicos economizadores, a partir do levantamento dos parâmetros a seguir:

- Consumo de água potável desagregado por pontos de utilização e os percentuais de uso dos diferentes aparelhos hidráulicos em relação ao consumo residencial total, conforme pesquisa desenvolvida no âmbito do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), descrito na Tabela 4.6, tendo em vista que a referida pesquisa foi conduzida no contexto brasileiro. Sobre tais parâmetros aplicaram-se os padrões de consumo per capita em função das classes socioeconômicas AB, C e DE, obtido em Dias *et al.* (2014);

- Eficiência hidráulica (percentual de redução de consumo de água) de cada um dos aparelhos relacionados acima, detalhada na Tabela 4.7.

Figura 4.8 – Fluxograma metodológico referente ao uso de aparelhos hidráulicos economizadores

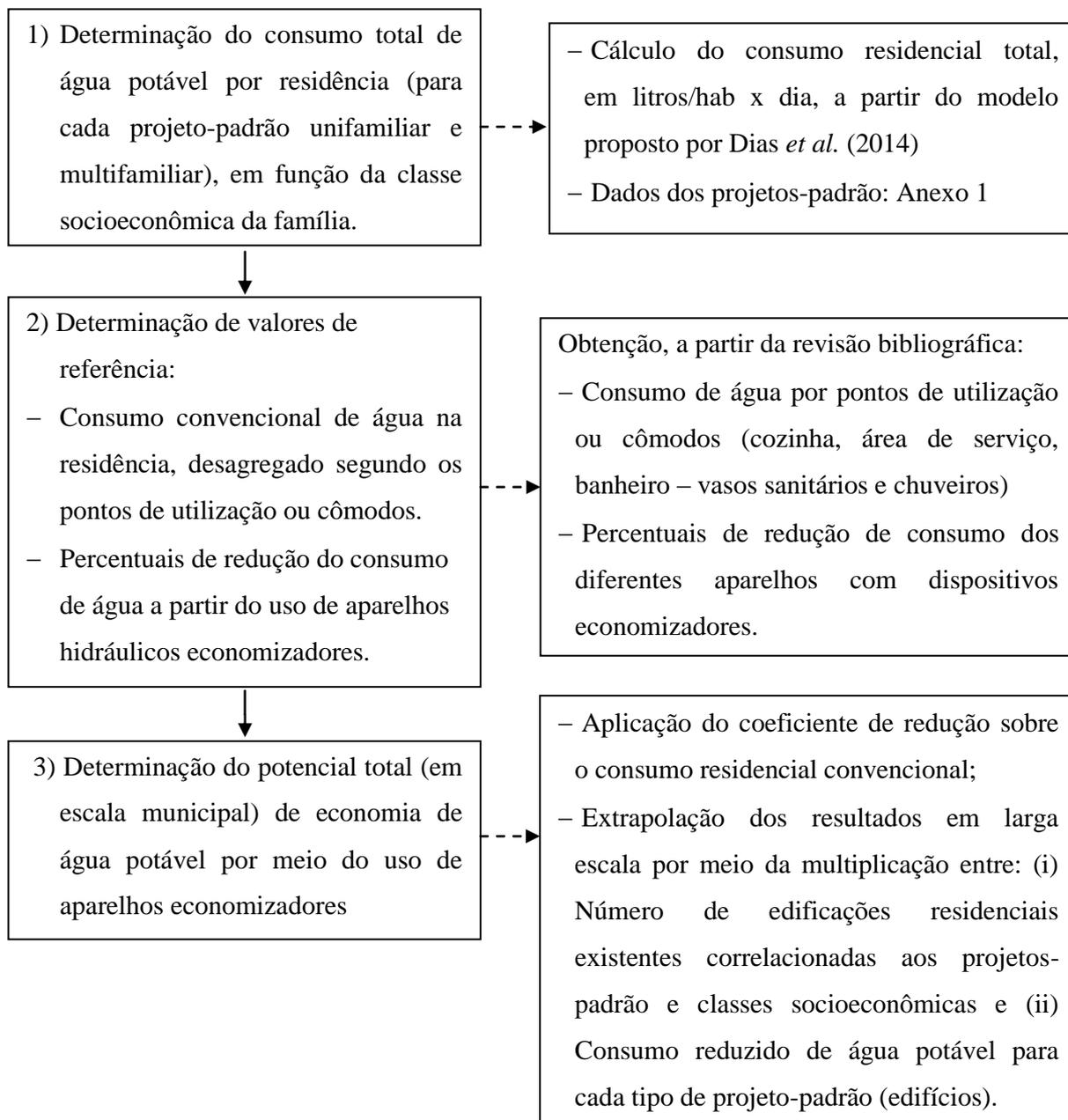


Tabela 4.6 – Distribuição percentual de uso domiciliar de água por aparelho (%)

| Aparelho | Distribuição de uso interno residencial |
|--------------------|---|
| Vaso sanitário | 21 |
| Chuveiro | 29 |
| Torneiras em geral | 10 |

Fonte: PROSAB 5 (Gonçalves, 2009)

Tabela 4.7 – Percentuais de redução do consumo de aparelhos economizadores

| Aparelho hidráulico economizador e percentual de redução do consumo em relação ao aparelho convencional | % |
|--|----|
| Bacia sanitária de caixa acoplada com acionamento seletivo (<i>dual-flush</i>), com 6 litros/acionamento, para dejetos sólidos e 3 litros/acionamento, para líquidos | 55 |
| Arejadores, que consistem em dispositivos fixados na saída das torneiras, reduzindo a seção de passagem da água e que possuem orifícios na superfície lateral, para entrada de ar durante o escoamento da água, dando ao usuário a sensação de uma vazão maior, em torneiras (pia de cozinha, lavatório de banheiro e tanque de área de serviço) | 40 |
| Chuveiro com dispositivo regulador de vazão (arejador) | 50 |

Fonte: PROSAB 5 (Gonçalves, 2009)

Optou-se pela não utilização de torneiras com válvula de fechamento automático e sensor de presença, tendo em vista que as simulações foram desenvolvidas apenas para edificações residenciais e tais dispositivos são usualmente aplicados em edifícios com maior circulação de pessoas. Também não foram consideradas nas simulações as máquinas de lavar roupas e máquinas de lavar louças, devido à falta de dados referentes à redução do consumo de água decorrente da aplicação de aparelhos economizadores.

Foram considerados os custos de implantação e manutenção dos aparelhos economizadores, da seguinte forma:

- Implantação: referem-se à aquisição e instalação dos aparelhos;
- Manutenção: correspondem a eventuais reparos e substituições dos aparelhos, tendo sido computados estimativamente em R\$50,00 por ano, visto que, em geral, a vida útil normal dos aparelhos é superior a 5 anos, conforme catálogo de fabricantes.

4.5 Medição individualizada em edifícios

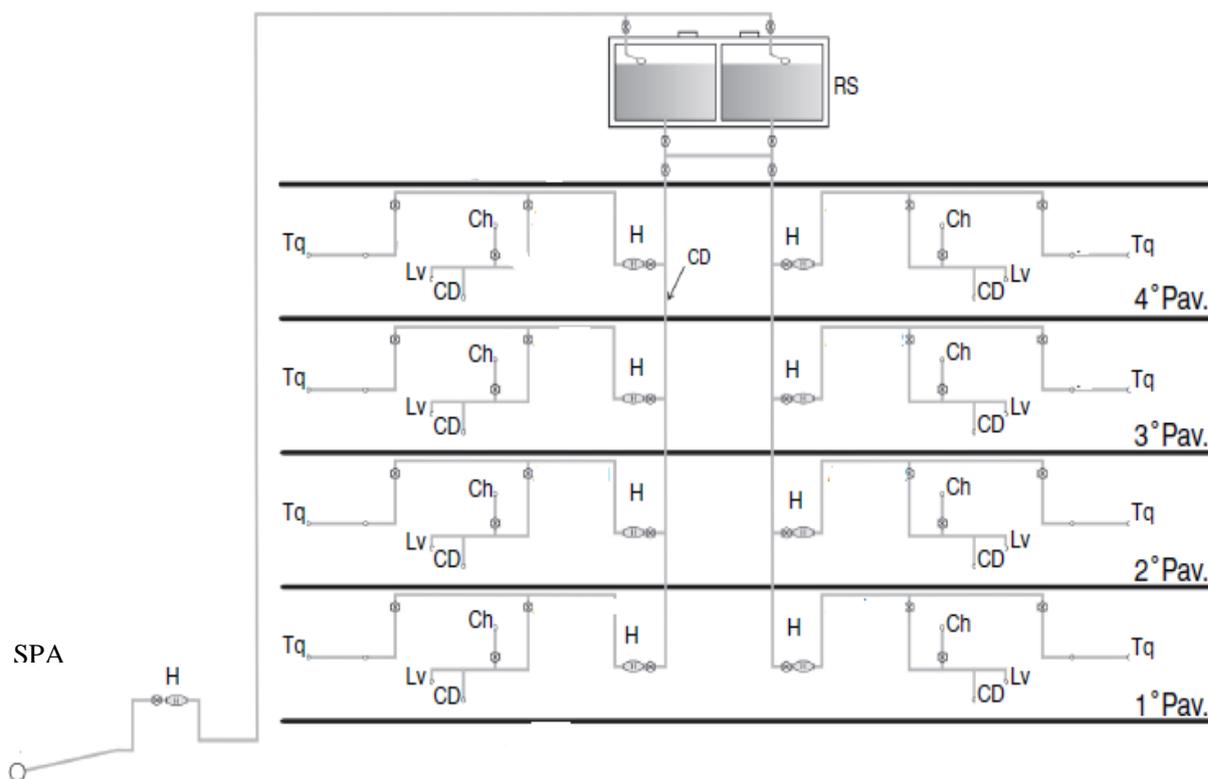
Conforme discutido anteriormente, a hidrometração individualizada é uma importante forma de reduzir o consumo de água em edifícios residenciais, sendo que tal nomenclatura é adotada no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Contudo, no presente trabalho, optou-se por utilizar a terminologia *medição individualizada*, visto que é a expressão utilizada em parte da literatura disponível.

A Figura 4.9 ilustra um sistema de medição individualizada, com hidrômetros instalados no mesmo pavimento dos apartamentos que serão atendidos. Há também a possibilidade de instalação dos hidrômetros individualizados junto ao barrilete de distribuição de água do edifício. Ambas as configurações permitem aos próprios condôminos a realização da leitura mensal dos hidrômetros.

Outra configuração possível é a instalação dos hidrômetros no pavimento térreo, conforme diretrizes estipuladas pelas concessionárias de serviços de abastecimento, como no caso da COPASA. Em tais instalações, a concessionária realiza as medições dos hidrômetros, a partir das quais são geradas as faturas individualizadas para as unidades domiciliares (apartamentos). No Anexo 5 estão apresentadas algumas fotografias ilustrativas de diferentes tipos de instalações de medição individualizada em edifícios.

A Figura 4.10 descreve os procedimentos propostos para determinação do potencial de economia de água em decorrência do uso de aparelhos hidráulicos economizadores.

Figura 4.9 – Elementos do sistema de medição individualizada



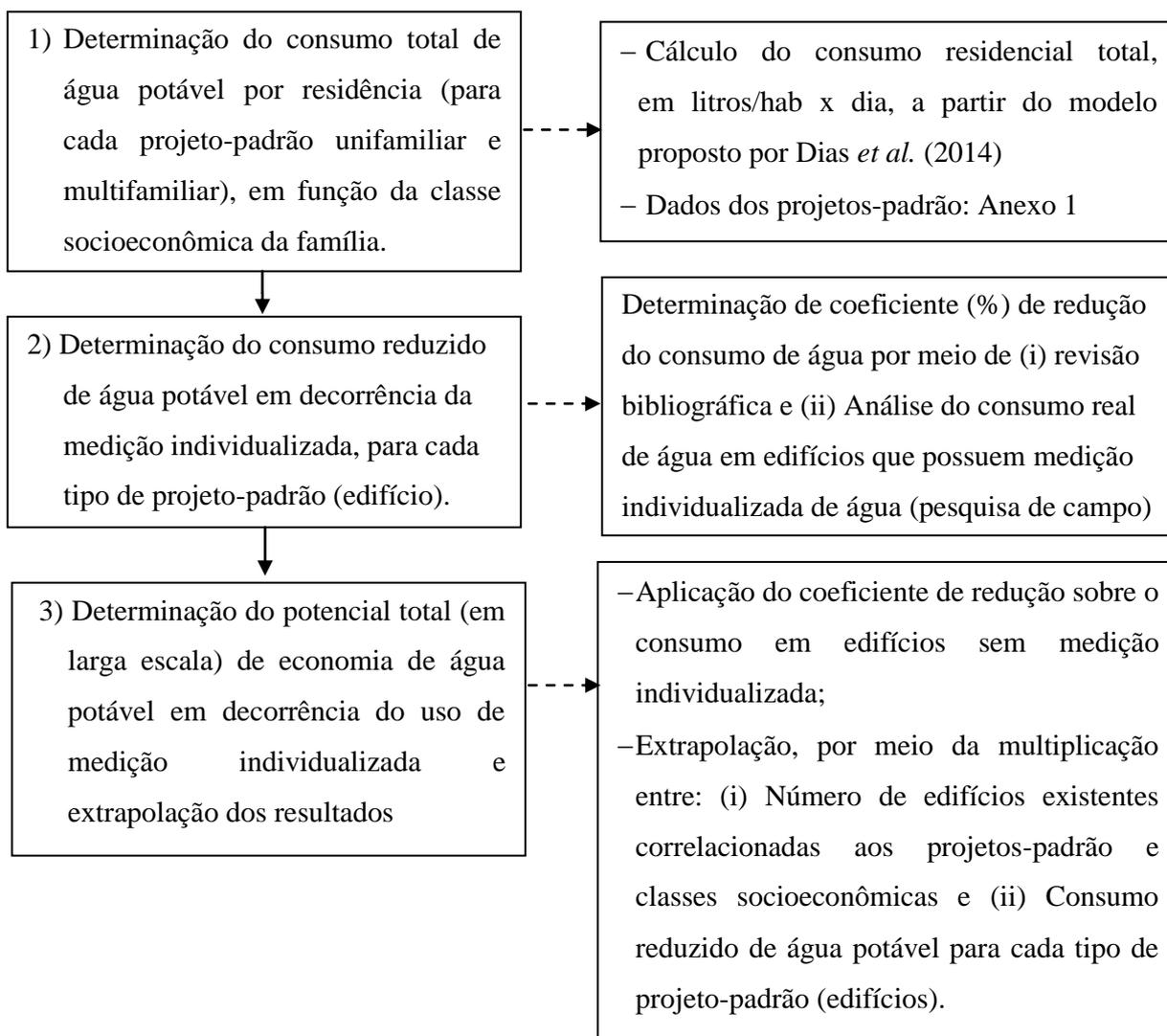
Legenda:

- RS: reservatório superior; - Tq: tanque; - Lv: lavatório; - Ch: chuveiro; - CD: Coluna de distribuição; - H: Hidrômetro (medição central, junto ao SPA e medição individualizada, próximo aos apartamentos); - SPA: Sistema público de água

Nota: Em cada pavimento há 2 apartamentos

Fonte: Adaptado de Peres e Oliveira (2006)

Figura 4.10 – Fluxograma metodológico referente à medição individualizada em edifícios



Visando estabelecer parâmetros comparativos de consumo de água entre edifícios residenciais que possuem e que não possuem medição individualizada, verificaram-se os registros de consumo em nove edifícios de diferentes padrões construtivos, localizados na região de Belo Horizonte. Foram obtidos 3.534 registros de consumo mensal de água, sendo 3302 em edifícios com medição individualizada e 232 em edifícios com medição unificada (um único ponto de medição do consumo de água). Tais registros foram transformados em consumo médio per capita diário, considerando o número de habitantes nos referidos edifícios.

As referidas comparações, em conjunto com a revisão de literatura (OLIVEIRA e PERES, 2009; YAMADA *et al.*, 2001; SOUZA FILHO *et al.*, 2006; SILVA e COHIM, 2007) visa a obtenção de valores percentuais de referência quanto à redução esperada no consumo de água em edifícios com medição individualizada em relação aos que não possuem tal dispositivo.

A seguir estão listados os custos decorrentes da medição individualizada em edifícios, os quais estão explicitados na seção referente aos parâmetros financeiros:

- Implantação: Aquisição e instalação de tubulações, hidrômetros e demais acessórios;
- Manutenção referente aos eventuais reparos e substituições dos aparelhos, tendo sido computados estimativamente em R\$50,00 por ano, visto que, em geral, a vida útil normal dos aparelhos é em torno de 5 anos;
- No caso de edifícios existentes dotados de medição centralizada (hidrômetro único), as interferências geradas para adaptá-los a um sistema de medição individualizada, com elevados custos e desconforto causados pelas reformas, dificultam o seu emprego. Assim, optou-se por simular sua implantação apenas em edifícios novos, ou seja, a serem construídos.

4.6 Análises de viabilidade financeira

As análises de viabilidade financeira foram desenvolvidas sob a ótica do investidor privado e são fundamentais em todos os tipos de projetos, visando à diminuição das incertezas quanto aos investimentos públicos ou privados e para que os subsídios concedidos e recursos alocados sejam investidos da melhor maneira possível (GRIFFIN, 2005; WORLD BANK, 2013). Contador (2000) destaca que a decisão sobre a viabilidade de um projeto isolado ou comparado à de outros projetos exige o emprego de critérios e regras que devem ser obedecidos para que os projetos possam ser aceitos e ordenados por preferência, inexistindo um critério único, unanimemente aceito pelos diferentes atores envolvidos – empresários, órgãos e instituições de financiamento e meio acadêmico.

Usualmente, a avaliação de projetos de investimentos envolve técnicas que verificam o benefício financeiro, tornando-se necessário estabelecer alguns conceitos, descritos de forma simplificada a seguir, conforme diferentes referências (CASAROTTO e KOPPITKE, 2000; CONTADOR, 2000; WORLD BANK, 2013):

- *Payback*: É o tempo necessário para que os fluxos de caixa nominais de um projeto cubram o investimento inicial, ou seja, é o período compreendido entre o investimento inicial e o momento em que o lucro líquido acumulado se iguala ao investimento. Um dos pontos fracos deste indicador é o fato de não considerar o valor do dinheiro no tempo. Assim, pode-se incluir o custo de oportunidade no cálculo do *payback*, resultando no *payback descontado*, que considera o valor do recurso no tempo, elevando o *payback* inicial.

- Valor Presente Líquido (VPL): Dado pela Equação 4.4, corresponde à soma algébrica dos valores do fluxo de caixa de um projeto, determinando o valor presente de pagamentos futuros atualizados a determinada taxa de desconto. Equivale ao cálculo de quanto os futuros pagamentos somados a um custo inicial valeriam atualmente. O VPL positivo indica que o projeto é viável e, na escolha entre projetos alternativos, a preferência recai sobre aquele com maior VPL.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (\text{Equação 4.4), onde:}$$

VPL: Valor Presente Líquido (em R\$);

FC: Fluxos de caixa verificados no projeto (em R\$);

i: Taxa de desconto do projeto (em %);

t: tempo (em meses).

- Taxa de desconto (i): É a taxa percentual que representa o valor de benefícios e custos (oriundos do fluxo de caixa) correspondentes à implantação de um determinado projeto, de forma a comparar o valor a ser obtido no futuro com o valor presente do mesmo. É a taxa comumente aplicada às análises financeiras, pois considera o “valor temporal do recurso (dinheiro)”, refletindo o grau de preferência pela liquidez dos investidores;
- Taxa Interna de Retorno (TIR): É a taxa “i” que iguala as entradas de caixa ao valor a ser investido em um projeto (benefícios e despesas), ou seja, é a taxa que iguala o VPL de um projeto a zero. Devido ao fato de estar relacionado à rentabilidade do projeto é um dos indicadores mais utilizados como parâmetros de decisão;
- Taxa Mínima de Atratividade (TMA): É taxa de desconto, a partir da qual o investidor está disposto a assumir risco do negócio, variando em função do custo de oportunidade.
- Custo de oportunidade: É o ganho que o investidor deixa de auferir ao optar por uma alternativa de investimento em detrimento de outra.

As análises financeiras, sob a ótica do investidor privado, foram desenvolvidas por meio do programa Microsoft Excel 2007 (ver modelos no Apêndice 3), utilizando os parâmetros de custo – implantação, manutenção e operação – correspondentes a cada dispositivo hidráulico, calculando-se o *payback* e o Valor Presente Líquido (VPL). Adotou-se o prazo de análise de

projeto de 20 anos (240 meses), conforme indicações do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID)¹² e Banco Mundial.

Enfatiza-se que a taxa de desconto exerce importante papel na realização das análises financeiras, razão pela qual deve-se atentar para a fixação de seu valor. A Tabela 4.8 descreve a compilação, feita por OECD (2007), de diferentes taxas de desconto, verificando-se valores médios em torno de 4% ao ano, salientando tratar-se, em sua maioria, de países desenvolvidos que praticam baixas taxas de juros em relação às praticadas no Brasil.

Tabela 4.8 – Exemplos de taxas de desconto utilizados por países desenvolvidos

| País | Taxa de desconto (% , ao ano) | Tempo de análise do projeto (anos) |
|----------------|-------------------------------|------------------------------------|
| Austrália | 6 a 7 | 20 a 30 |
| Canadá | 5 a 10 | 20 a 50 |
| França | 4 para períodos até 30 anos | Variável (reduz a 2% após 30 anos) |
| Alemanha | 3 | Variável |
| México | 12 | 30 |
| Holanda | 4 | 30 |
| Reino Unido | 3,5 para 30 anos | Variável |
| Estados Unidos | 3 a 7 | Variável |

Fonte: OECD (2007)

Foram realizadas simulações financeiras para três cenários, visando às análises de sensibilidade em relação às variações na taxa de desconto, fixando-se as demais variáveis:

- Cenário 1: A partir da ótica social de um projeto, considerou-se taxa de desconto nula (CONTADOR, 2000; DOMENECH e SAURI, 2011);
- Cenário 2: Taxa de desconto equivalente à correção fixada na caderneta de poupança, considerada igual a 7,5% a.a., conforme dados obtidos junto ao Banco Central do Brasil¹³;
- Cenário 3: Taxa de desconto indicada pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), considerada igual a 12,0% a.a.

¹² Fonte: <http://www.iadb.org/en/topics/development-effectiveness/evaluation-hub/economic-analysis-overview-assumptions-and-methodologies,17882.html> (acesso em 21/05/2015)

¹³ Fonte: <http://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp> (acesso em 26/08/2015)

4.7 Incentivos de base financeira ao emprego de alternativas para a redução do consumo domiciliar de água e análises de sensibilidade

As análises financeiras descritas nos itens anteriores não incorporam uma abordagem econômica global, de interesse social, relacionada à redução do consumo de água potável. No caso, uma das externalidades positivas decorrentes do menor consumo de água seria a maior disponibilidade do recurso nos pontos de captação. Tal disponibilidade de água no manancial ou curso d'água pode gerar benefícios ambientais, possibilitando a diversificação dos usos e geração de outros benefícios com alto retorno social.

Neste sentido, há ainda outros aspectos relacionados à redução do consumo de água:

- Benefício educacional para a economia de recursos naturais, envolvendo toda a população;
- Economia potencial em consumo de energia no sistema produtor e distribuidor de água potável, bem como no uso de químicos para o tratamento da água;
- Possibilidade de haver postergação de investimentos em novos sistemas produtores de água em decorrência da maior disponibilidade do recurso nos mananciais;
- Aumenta-se a segurança hídrica, com menor consumo e, no caso da água de chuva, com a diversificação de fontes de água.

Entretanto, os métodos de análise financeira utilizados na presente pesquisa não captam os benefícios mencionados acima. Em outras palavras, o emprego da análise de custo-benefício traz dificuldades associadas à atribuição de valor a vários dos benefícios listados. Isso ampliaria em muito o escopo da tese, podendo ser tratado por meio de um projeto de pesquisa independente, ficando aqui como recomendação para futuros trabalhos.

Desta forma, além das análises de sensibilidade referentes aos resultados financeiros apresentadas na seção anterior, onde aplicaram-se variações nas taxas de desconto, mantendo-se fixas as demais variáveis, o presente item objetiva propor outras simulações, de forma simplificada. Foram aplicadas notadamente para os sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais unifamiliares (casas), conforme descrito a seguir:

- Simulações baseadas no instrumento de cobrança pelo uso da água previsto na Lei de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997): aumentou-se o valor da mesma junto aos comitês de

bacia, analisando-se os impactos no valor das tarifas de água cobradas pela prestadora de serviços de saneamento;

- Simulações baseadas na redução do custo de implantação do sistema para o proprietário da residência, por meio da concessão de subsídios (a fundo perdido), de modo a reduzir o desembolso inicial para aquisição e instalação do sistema.

As análises de sensibilidade dos resultados financeiros ora propostas estão detalhadas nos próximos itens e visam à obtenção de elementos e diretrizes que possam auxiliar no processo de elaboração e implementação de políticas públicas que promovam a disseminação dos sistemas, principalmente em edificações residenciais unifamiliares (casas).

4.7.1 Variação do valor cobrado pelo uso da água

Inicialmente, faz-se necessário apresentar alguns conceitos no tocante à cobrança pelo uso de recursos hídricos. Conforme abordado anteriormente, tal cobrança é um instrumento econômico de gestão das águas previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997). Para o Estado de Minas Gerais, onde foi desenvolvido o estudo de caso, a legislação pertinente é a Política Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 1999), regulamentada pelo Decreto 44.046/2005.

A legislação mencionada refere-se ao uso dos recursos hídricos que estão sujeitos à outorga do uso da água. Objetiva o estímulo do uso racional da água e gerar recursos financeiros para investimentos na recuperação e proteção dos mananciais das bacias sob gestão dos respectivos comitês (CBH) locais, ou seja, o valor da cobrança deveria refletir, a priori, os custos ambientais e sociais referentes ao uso da água.

A Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), com seus 34 municípios e 9.470 km² de extensão territorial, abrange três bacias hidrográficas: Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH – Velhas, 2015)¹⁴, Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba¹⁵ e Bacia Hidrográfica do Rio Pará¹⁶, sendo as duas primeiras as principais quanto ao volume captado para abastecimento público de água na referida região. Dentre elas, somente o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba ainda não implementou o instrumento de cobrança pelo uso da água.

¹⁴ <http://cbhvelhas.org.br/>. Deliberação Normativa (DN) CBH – Velhas n. 03, de 20/03/2009, alterada pela DN n. 04, de 06/07/2009, aprovada pela DN CERH n. 185, de 26/08/2009), que estabelece critérios e normas e define mecanismos básicos da cobrança pelo uso de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas.

¹⁵ <http://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais/bacia-do-rio-sao-francisco/sf3-cbh-do-rio-paraopeba/1473>

¹⁶ <http://www.cbhpara.org.br/index.htm>

Adotaram-se, como referência, as diretrizes do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CBH – Velhas), pois é a principal quanto ao volume captado para abastecimento do município de Belo Horizonte e já tem implementado o instrumento de cobrança pelo uso da água, conforme os parâmetros normativos a seguir descritos: (i) Volume anual de água captado do corpo hídrico (Q_{cap} , em m^3/ano); (ii) Volume anual de água ou efluente lançado no corpo hídrico ($Q_{lanç}$, em m^3/ano); (iii) Volume anual de água do corpo hídrico consumido pelo usuário, dado pela diferença entre o volume captado e o lançado (Q_{cons} , em m^3/ano); (iv) Cargas de substâncias lançadas no corpo hídrico, denotadas por ($CA_{subst.(i)}$, sendo $i = 1, \dots, n$, em unidades/ano).

A cobrança pelo uso da água é calculada de acordo com os referidos parâmetros, em função da variável “Preço Público Unitário” (PPU), em $R\$/m^3$, e de coeficientes específicos, de acordo com a Deliberação Normativa (DN) CBH – Velhas n. 04/2009, conforme equação 4.5.

$$\text{Valor}_{total} = (\text{Valor}_{cap} + \text{Valor}_{cons} + \text{Valor}_{lanç}) \times K_{gestão} \quad (\text{Equação 4.5}), \text{ onde:}$$

Valor_{cap} : Valor anual de cobrança pela captação de água, em $R\$/ano$

Valor_{cons} : Valor anual de cobrança pelo consumo de água, em $R\$/ano$

$\text{Valor}_{lanç}$: Valor anual de cobrança pelo lançamento de efluentes no meio hídrico, em $R\$/ano$

$K_{gestão}$: Coeficiente que considera o efetivo retorno dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso da água na bacia do Rio das Velhas.

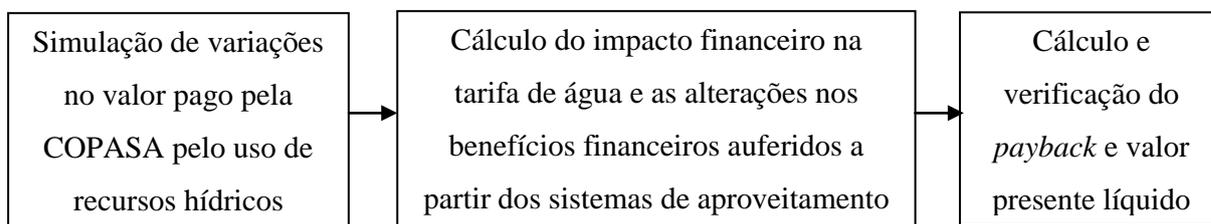
A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) administra os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário na maior parte dos municípios da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, a qual possui índice de 93,4% atendimento urbano de água potável (CBH – Velhas, 2015). Os valores pagos pela COPASA ao CBH – Velhas em decorrência da cobrança pelo uso de recursos hídricos não são computados na estrutura tarifária regulada pela Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE-MG). Tal fato ocorre pois a estrutura tarifária regulada pela ARSAE-MG é aplicável a todos os municípios sob a operação da COPASA, mas somente alguns comitês de bacia instituíram a cobrança pelo uso de recursos hídricos, evitando-se, assim, a socialização dos custos associados à cobrança. Em outras palavras, na fatura emitida pela COPASA aos consumidores em Belo Horizonte, os valores da cobrança são listados em separado aos valores da tarifa pela prestação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. É necessário enfatizar que, no aspecto

educacional, a discriminação dos valores correspondentes à cobrança pelo uso da água é importante no tocante às estratégias de redução do consumo, pois espera-se que o comportamento do consumidor seja alterado em função de tal informação.

As simulações foram realizadas para cada um dos projetos-padrão unifamiliares, selecionados devido à sua representatividade em relação às edificações residenciais existentes no município de Belo Horizonte, observando-se os procedimentos descritos a seguir e na Figura 4.11:

- Levantamento dos valores pagos pela COPASA ao CBH – Velhas, aplicáveis para o município de Belo Horizonte, nos dois últimos anos – 2014 e 2015 – e verificação da forma como tais valores incidem nas tarifas de água;
- Cálculo dos benefícios financeiros (ver planilha-modelo no Apêndice 3) – valores que entram com o sinal positivo no fluxo de caixa –, considerando a variação da tarifa de água;
- Aplicação das tarifas alteradas nas planilhas de análises financeiras e verificação dos novos períodos de retorno do investimento (*payback*) para as edificações unifamiliares.

Figura 4.11 – Esquema para análises de sensibilidade financeira decorrente de variações no valor pago pelo uso de recursos hídricos



4.7.2 Variação do custo de implantação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva por meio de subsídios a fundo perdido

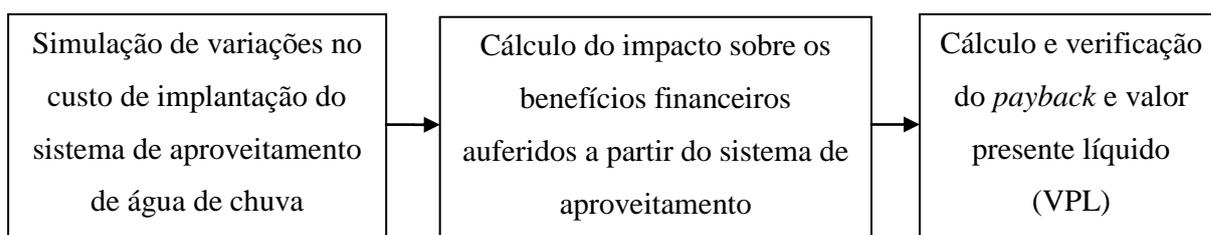
O intuito do presente item é analisar os impactos nos resultados financeiros decorrentes da concessão de subsídios (a fundo perdido) pelo poder público para aquisição e implantação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva.

As referidas simulações foram realizadas para os cinco projetos-padrão unifamiliares, correspondentes às casas existentes no município de Belo Horizonte. Neste caso, faz-se necessário considerar também a abrangência de edificações residenciais sobre as quais incidem o subsídio mencionado. Para tanto, utilizou-se o levantamento do número de edificações residenciais unifamiliares (casas) existentes no município em dois cenários:

abrangência de 20% das casas e 100% das casas existentes. Os procedimentos para as análises estão descritos na Figura 4.12 e nos tópicos seguintes:

- Utilização do levantamento de custos referentes à implantação (aquisição e instalação) dos sistemas de aproveitamento de água de chuva. Sobre tais custos incidiram três diferentes percentuais de desconto (subsídio) – 10%, 25% e 50%;
- Aplicação dos referidos valores (R\$) correspondentes aos custos de implantação, para os três patamares de descontos aplicados, nas planilhas de análises financeiras e verificação dos novos períodos de retorno do investimento (*payback*) para as edificações unifamiliares;
- Extrapolação, em escala municipal, dos valores (R\$) correspondentes ao subsídio: produto do custo unitário subsidiado do sistema (por projeto-padrão) pelo número de casas existentes, para os cenários descritos (abrangência de 20% e 100% das casas existentes);

Figura 4.12 – Esquema para análises de sensibilidade financeira decorrente de variação no custo de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva por meio de subsídios



Salienta-se que, segundo a PNRH (BRASIL, 1997) a cobrança pelo uso da água tem por diretrizes o incentivo de mudanças de comportamento quanto ao uso dos recursos hídricos e o apoio financeiro a projetos que reduzem o consumo e a poluição no lançamento de efluentes. Portanto, se uma das fontes para financiar os subsídios aqui descritos forem recursos da cobrança, não há conflito legal, podendo também ser consideradas outras possibilidades. No caso de Belo Horizonte, no contexto de elaboração e implementação de políticas públicas concernentes ao tema, podem ser considerados também recursos advindos do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), além de fundos municipais de saneamento e de meio ambiente.

5 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O município de Belo Horizonte, tomado como estudo de caso neste trabalho, capital do Estado de Minas Gerais, com 331 km² de área, localiza-se na Região Sudeste, às coordenadas 19°55'8" de latitude Sul e 43°56'19" de longitude oeste, a 956 metros de altitude (PRODABEL, 2013). A população recenseada em 2010 é de 2.375.151 habitantes sendo que, em média, há 3,1 moradores por unidade habitacional (IBGE, 2010). O município é dividido em 9 regiões administrativas, conforme a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PMBH), em 531 bairros e 3.884 setores censitários, sobre os quais agregou-se a base de dados georreferenciados utilizada na presente pesquisa, conforme Tabela 5.1, Figuras 5.1 e 5.2.

A escolha do município de Belo Horizonte como estudo de caso ocorreu devido à disponibilidade de dados cadastrais sobre habitação e outros parâmetros. Além disso, o município apresenta perfil de distribuição de renda, índice de desenvolvimento humano (IDH)¹⁷, índice de Gini¹⁸ e indicadores de saneamento que representam valores medianos em comparação com outras capitais brasileiras, conforme pode ser descrito na Tabela 5.2.

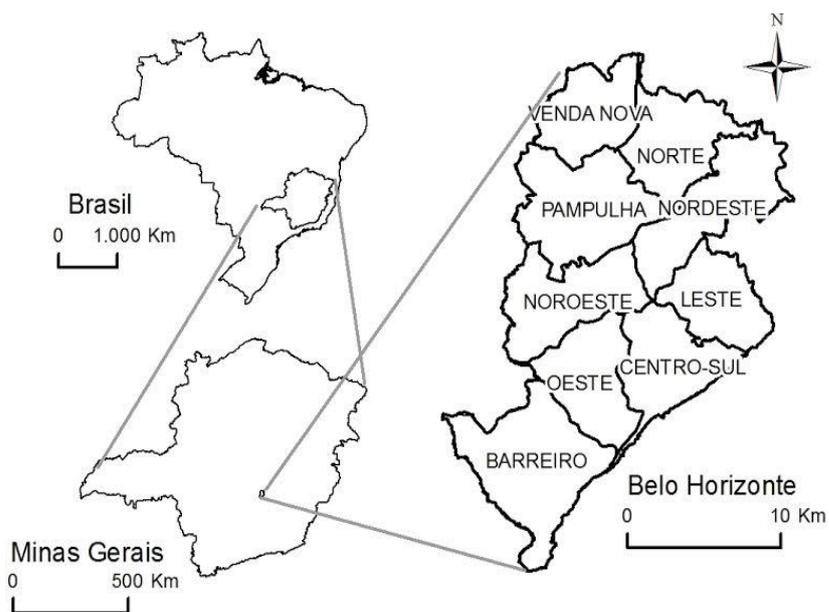
A metodologia proposta na pesquisa pode ser aplicada a outras cidades brasileiras, mediante disponibilidade e adequação da base de dados, considerando as questões socioeconômicas, geográficas e regime de chuvas, no tocante aos estudos de aproveitamento de água de chuva.

A Tabela 5.3 apresenta a distribuição em classes socioeconômicas – A1, B1, B2, C1, C2, D e E (D e E estão unidas devido ao tamanho reduzido de ambas) da população de Belo Horizonte segundo o critério de classificação contida em ABEP (2012). Visando obter uma melhor compatibilização dos dados, agruparam-se as classes nas faixas AB, C e DE. A referida tabela também apresenta a distribuição populacional e o número de habitantes por domicílio conforme classes, verificando-se que, em média, há 3 moradores por domicílio. Salienta-se que a base de dados tem como referência principal o recenseamento realizado pelo IBGE em 2010.

¹⁷ IDH: medida comparativa usada para classificação de países quanto ao grau de desenvolvimento humano, variando de 0 a 1 (IDH muito alto: desenvolvidos, IDH médio a alto: em desenvolvimento e IDH baixo: subdesenvolvidos), sendo também aplicado aos estados e cidades brasileiras. As principais variáveis de cálculo são: índice de educação (escolaridade), expectativa (longevidade) e renda (PIB per capita).

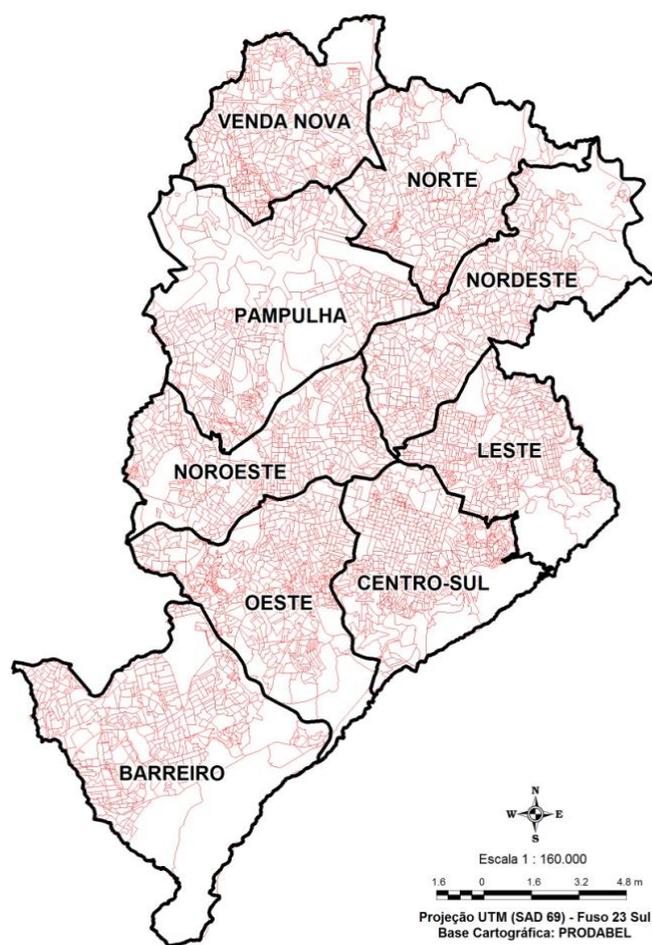
¹⁸ Coeficiente de Gini: medida da desigualdade na distribuição de renda, variando entre 0 (completa igualdade na distribuição de renda) e 1 (completa desigualdade, onde uma pessoa concentra toda a renda).

Figura 5.1 – Localização e regiões administrativas de Belo Horizonte



Fonte: PRODABEL (2013)

Figura 5.2 – Regiões administrativas e setores censitários no município de Belo Horizonte



Fonte: PRODABEL (2013)

Tabela 5.1 – Regiões administrativas, setores censitários, população e número de domicílios em Belo Horizonte

| Regiões administrativas (PMBH) e número de setores censitários ⁽¹⁾ | População por região e percentual ⁽¹⁾ | Número de domicílios ⁽²⁾ | Número médio de domicílios por setor censitário ⁽²⁾ | Número médio de moradores por domicílio ⁽²⁾ | | |
|---|--|-------------------------------------|--|--|----------------------------------|------|
| Barreiro | 424 | 281.975 | 11,9 | 85.617 | 202 | 3,29 |
| Centro-Sul | 488 | 271.402 | 11,5 | 98.732 | 202 | 2,75 |
| Leste | 405 | 247.935 | 10,4 | 80.079 | 198 | 3,10 |
| Nordeste | 450 | 290.392 | 12,2 | 91.835 | 204 | 3,16 |
| Noroeste | 571 | 334.298 | 14,1 | 107.776 | 189 | 3,10 |
| Norte | 321 | 212.215 | 8,9 | 64.349 | 200 | 3,30 |
| Oeste | 498 | 289.367 | 12,2 | 93.889 | 189 | 3,08 |
| Pampulha | 324 | 186.012 | 7,8 | 59.739 | 184 | 3,11 |
| Venda Nova | 403 | 261.555 | 11,0 | 80.059 | 199 | 3,27 |
| Total | 3.884 | 2.375.151 | 100,0 | 762.075 | Média ponderada ⁽³⁾ : | 3,12 |

Fonte: (1) PRODABEL (2013); (2) IBGE (2010)

(3) Média ponderada do número de moradores por domicílio, nos setores censitário e regiões administrativas

Tabela 5.2 – Indicadores de saneamento básico e de desenvolvimento em capitais brasileiras

| Local | Índice de atendimento urbano com rede de água (%) ⁽¹⁾ | Índice de atendimento urbano com rede de Esgoto (%) ⁽¹⁾ | Consumo médio per capita de água (L/hab x dia) ⁽¹⁾ | Índice de perdas na distribuição (%) ⁽¹⁾ | PIB per capita ⁽³⁾ (10 ³ R\$) | Coefficiente de Gini ⁽³⁾ | IDH ⁽³⁾ |
|----------------|--|--|---|---|---|-------------------------------------|--------------------|
| Brasil | 93,0 | 55,5 | 162,6 | 38,8 | 23,7 | 0,547 | 0,730 |
| Minas Gerais | 94,4 | 75,5 | 155,5 | 33,1 | 24,9 | 0,476 | 0,731 |
| Belo Horizonte | 100,0 | 95,5 ⁽²⁾ | 181,2 | 33,8 | 32,8 | 0,611 | 0,810 |
| São Paulo | 99,1 | 97,0 | 186,9 | 36,5 | 48,3 | 0,645 | 0,805 |
| Rio de Janeiro | 90,7 | 77,8 | 298,1 | 35,7 | 43,9 | 0,639 | 0,799 |
| Curitiba | 100,0 | 95,5 | 165,4 | 39,8 | 42,9 | 0,565 | 0,776 |
| Porto Alegre | 100,0 | 88,0 | 219,5 | 24,8 | 39,1 | 0,614 | 0,805 |
| Salvador | 92,5 | 79,2 | 152,3 | 48,7 | 18,3 | 0,645 | 0,759 |
| Fortaleza | 98,8 | 53,6 | 143,8 | 44,7 | 19,5 | 0,627 | 0,754 |

Fonte: (1) SNIS – 2011 (BRASIL, 2013); (2) Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte (PMBH, 2014); (3) IBGE (2010)

A distribuição percentual da população em cada distrito operacional adotado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), de acordo com as classes socioeconômicas descritas na Tabela 5.3, está descrita na Tabela 5.4.

Tabela 5.3 – Classes socioeconômicas e distribuição populacional em Belo Horizonte

| Classes socioeconômicas estratificadas e reagrupadas ⁽¹⁾ | Renda familiar média ⁽²⁾ (R\$/mês) | Médias (à esquerda) e médias ponderadas (à direita) | | | | | | |
|---|---|---|------|---|------|------------|------|--|
| | | Número de moradores por domicílio ⁽²⁾⁽³⁾ | | Distribuição da população ⁽²⁾⁽³⁾ | | | | |
| | | | | Belo Horizonte (%) | | Brasil (%) | | |
| A1 | 9.263,00 | 3,29 | | 4,0 | | | | |
| B1 | 5.241,00 | 3,20 | 3,35 | 9,6 | 35,5 | 10,0 | 36,3 | |
| B2 | 2.654,00 | 3,42 | | 21,9 | | 21,8 | | |
| C1 | 1.685,00 | 3,27 | 3,15 | 26,7 | 50,2 | 26,3 | 48,8 | |
| C2 | 1.147,00 | 3,02 | | 23,5 | | 22,5 | | |
| D/E | 776,00 | 2,53 | 2,53 | 14,3 | 14,3 | 14,9 | 14,9 | |

(1) Estratificação conforme Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (ABEP, 2012)

(2) Fonte: IBGE (2010);

(3) À direita estão descritas as médias ponderadas dos diferentes parâmetros em relação às referidas classes.

Tabela 5.4 – Distribuição da população, por classe socioeconômica, para cada distrito operacional para Belo Horizonte

| Regiões administrativas adotadas pela PMBH | Correspondência com os distritos operacionais da COPASA em Belo Horizonte ⁽¹⁾ | Distribuição percentual da população por classes socioeconômicas ⁽²⁾ | | |
|--|--|---|------|------|
| | | AB | C | DE |
| Barreiro | Sudoeste (DTSO) | 2,2 | 27,9 | 69,9 |
| Oeste | Oeste (DTOE) | 26,2 | 47,9 | 25,9 |
| Centro-Sul | Sul (DTSL) | 85,5 | 11,5 | 3,0 |
| Nordeste | Leste (DTLE) | 10,0 | 60,7 | 29,3 |
| Leste | | | | |
| Pampulha | Norte (DTNT) | 10,3 | 65,9 | 23,8 |
| Noroeste | | | | |
| Norte | Noroeste (DTNO) | 0,0 | 40,8 | 59,2 |
| Venda Nova | | | | |

(1) Correspondência aproximada a partir de regionalização geográfica, conforme proposta por Dias (2008)

(2) Classes socioeconômicas conforme estratificação descrita na Tabela 5.3.

A COPASA, concessionária dos serviços de abastecimento de água na maioria dos 34 municípios e cerca de 5 milhões de habitantes da RMBH, realiza a captação de água conforme descrito na Tabela 5.5, destacando-se o Rio das Velhas como o principal manancial, com 41,3% da participação em relação ao total. Verifica-se que a média explorada corresponde a 74,4% da capacidade total instalada. Ressalta-se que os sistemas de captação de água

descritos na referida tabela destinam-se ao abastecimento de toda a região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e a distribuição de água é interligada para atender a todos os usos.

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte, o município responde por aproximadamente 54% do consumo da água distribuída pela COPASA para a RMBH (PMBH, 2014), ou seja, cerca de $17,6 \times 10^6$ m³/mês, em relação à média explorada. Considerando que, de acordo com COPASA (2013), entre os anos 2009 e 2012, a média de consumo residencial de água em Belo Horizonte é de 10×10^6 m³/mês, aproximadamente 56,8% da água distribuída a Belo Horizonte é destinada ao uso residencial e 43,2% aos demais usos, tais como: comercial, industrial, público, dentre outros.

Tabela 5.5 – Sistemas de produção e captação de água para a Região Metropolitana de Belo Horizonte

| Sistema de Produção | Média explorada | | Capacidade instalada (m ³ /mês) | Informações adicionais ⁽¹⁾ |
|------------------------|---------------------|--------------|--|---|
| | m ³ /mês | % | | |
| Rio das Velhas | 13.429.080 | 41,3 | 17.739.080 | Localiza-se no Distrito de Bela Fama, em Nova Lima, a 30 km de Belo Horizonte. É responsável por parte do abastecimento de água dos municípios de Belo Horizonte, Raposos, Nova Lima, Sabará e Santa Luzia. |
| Serra Azul | 4.007.700 | 12,3 | 7.095.600 | Localiza-se nos municípios de Mateus Leme, Juatuba, Igarapé e Itaúna, há cerca de 55 km de Belo Horizonte. Compõe o sistema integrado da Bacia do Paraopeba e atende a cerca de 800 mil pessoas da RMBH. |
| Vargem das Flores | 2.943.360 | 9,0 | 3.942.000 | Localiza-se em Betim e Contagem, abastece 400 mil pessoas na RMBH. Junto com os sistemas Serra azul e Rio Manso, compõe o sistema integrado da Bacia do Paraopeba. |
| Rio Manso | 7.700.040 | 23,7 | 11.037.600 | Localiza-se a 65 km de Belo Horizonte, abrange cinco municípios: Brumadinho, Rio Manso, Crucilândia, Itatiaiuçu e Bonfim. |
| Ibirité | 814.680 | 2,5 | 1.182.600 | Destina-se a reforçar o abastecimento das regiões oeste e norte de Belo Horizonte |
| Morro Redondo | 1.576.800 | 4,8 | 1.971.000 | Localiza-se em Belo Horizonte, abastece parte da zona sul e parte de Nova Lima. |
| Catarina | 210.240 | 0,7 | 446.760 | Sistemas localizados nas cidades da RMBH, compostos por diversos poços e captações superficiais de pequeno porte, quando comparados aos demais sistemas de captação. |
| Barreiro | 78.840 | 0,2 | 525.600 | |
| Sistemas independentes | 1.800.180 | 5,5 | 1.800.180 | |
| TOTAL | 32.560.920 | 100,0 | 43.740.340 | - |

Fonte: Elaboração própria, adaptado de

http://www.copasa.com.br/Producao_de_agua/PAGINA/sistemas/default.htm (acesso em 07/02/2013)

6 RESULTADOS

O presente capítulo destina-se a apresentar os resultados obtidos a partir da aplicação dos procedimentos metodológicos, destacando-se os seguintes tópicos:

- Consumo residencial de água, relacionado às classes socioeconômicas, a partir da renda familiar;
- Distribuição das edificações residenciais unifamiliares (casas) e multifamiliares (edifícios de apartamentos) existentes no município de Belo Horizonte;
- Para as simulações de aproveitamento de água de chuva:
 - Aspectos hidrológicos, onde é apresentada a base de dados de precipitações;
 - Estimativas de demanda residencial de água não potável a ser substituída por água de chuva.
- Parâmetros de custo de implantação, manutenção e operação dos dispositivos considerados na pesquisa, visando à redução do consumo de água potável: aproveitamento de água de chuva, uso de aparelhos hidráulicos economizadores e medição individualizada de água em edifícios.
- Resultados das simulações desenvolvidas com base nos projetos-padrão, para cada um dos dispositivos listados no item anterior.
- Extrapolações, em escala municipal, dos potenciais de economia de água potável, considerando as simulações realizadas para cada um dos projetos-padrão.
- Resultados financeiros referentes à análise de investimento e custo-benefício, sob a ótica do investidor privado, calculados para cada projeto-padrão.

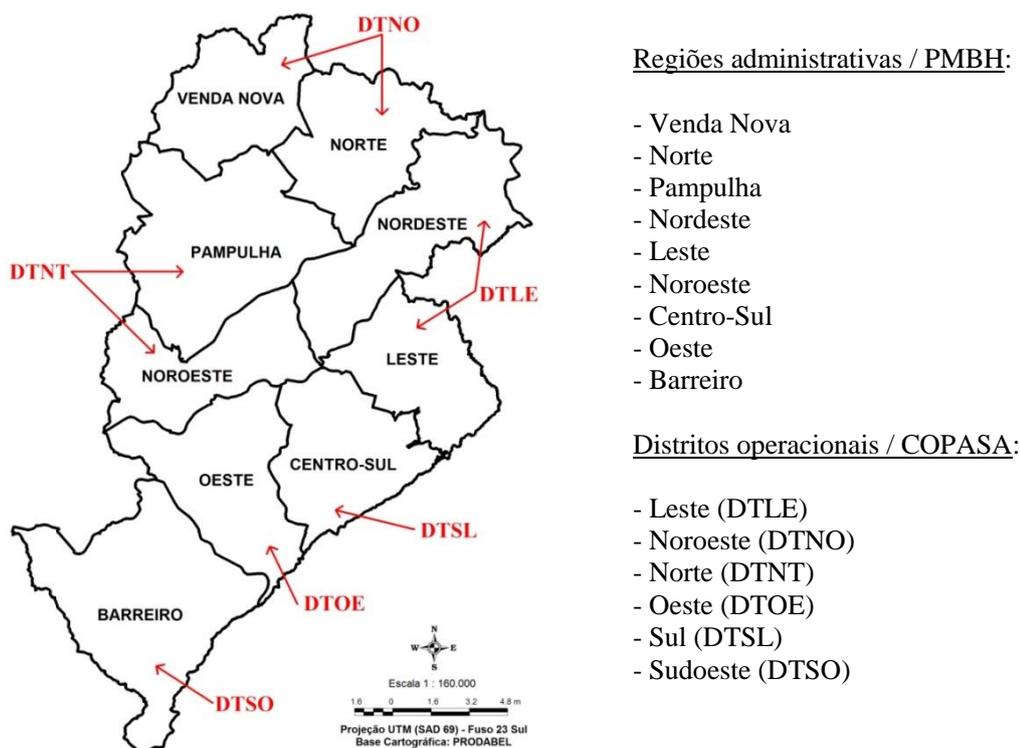
Ao longo do presente capítulo, foram feitos comentários específicos sobre os resultados encontrados. No capítulo seguinte, foram realizadas discussões acerca dos resultados obtidos, além de outras simulações.

6.1 Consumo residencial de água

6.1.1 Análises do consumo residencial de água em Belo Horizonte

Visando estabelecer maior precisão nas análises do consumo residencial de água em Belo Horizonte, utilizou-se a Figura 6.1, a partir de Dias (2008), a qual relaciona geograficamente as bases de dados das nove regiões administrativas da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PMBH) e os seis distritos operacionais da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), segundo os 3.884 setores censitários do município. A Tabela 6.1 descreve, para a referida regionalização, os parâmetros populacionais, renda e consumo domiciliar de água.

Figura 6.1 – Regiões administrativas (PMBH) e distritos operacionais (COPASA) em Belo Horizonte



Fonte: Dias (2008)

Conforme descrito anteriormente, foi obtida junto à COPASA, a série histórica de consumo residencial micromedido de água, em base mensal, por distrito operacional de Belo Horizonte, no período de agosto de 2003 a outubro de 2012, perfazendo 111 meses, conforme apresentado nas Figuras 6.2 (registros reais) e 6.3 (médias móveis, com ciclo de 5 meses), para cada um dos seis distritos. Objetivando analisar a eventual presença de tendências na série histórica de consumo residencial de água, aplicou-se o Teste de Sinais, conforme também explicitado na Tabela 6.2 e nos tópicos a seguir descritos.

Tabela 6.1 – Distritos operacionais da COPASA em Belo Horizonte: população, renda e dados de consumo de água

| Distrito operacional da COPASA em Belo Horizonte | Renda familiar média aproximada (R\$/mês) ⁽¹⁾ | População ⁽²⁾ | | Consumo residencial per capita médio ⁽³⁾ (litros / hab x dia) | | | Teste de sinais ⁽⁴⁾ (referente ao consumo residencial total) | | | |
|--|--|--------------------------|-----------|--|-------|-----------------------|---|----------------------------|-------------------------------|--|
| | | 2000 | 2010 | 2003 | 2010 | Variação no consumo % | Número de sinais positivos | Número de sinais negativos | Programa MatLab | |
| | | | | | | | | | <i>p-value</i> ⁽⁵⁾ | Conclusão ⁽⁵⁾ : Não rejeitar H ₀ ? |
| Noroeste (DTNO) | 796,00 | 470.569 | 436.721 | 122,1 | 139,3 | +14,1 | 58 | 52 | 0,0039 | Não → não existe tendência |
| Norte (DTNT) | 1.392,00 | 388.578 | 452.828 | 148,9 | 132,0 | -11,3 | 52 | 58 | 0,0313 | Não → não existe tendência |
| Leste (DTLE) | 1.186,00 | 415.513 | 487.607 | 138,0 | 117,5 | -14,9 | 51 | 59 | 0,0313 | Não → não existe tendência |
| Sul (DTSL) | 3.251,00 | 367.317 | 422.103 | 213,4 | 181,8 | -14,8 | 54 | 56 | 0,0320 | Não → não existe tendência |
| Oeste (DTOE) | 1.444,00 | 312.843 | 309.620 | 153,3 | 160,6 | +4,8 | 56 | 54 | 0,0313 | Não → não existe tendência |
| Sudoeste (DTSO) | 738,00 | 256.529 | 266.272 | 111,7 | 112,9 | +1,1 | 57 | 53 | 0,0039 | Não → não existe tendência |
| Total | - | 2.221.349 | 2.375.151 | 148,2 | 140,8 | -5,0 | 57 | 53 | 0,0313 | Não → não existe tendência |

(1) Renda familiar média (IBGE, 2010).

(2) População residente em domicílios particulares permanentes nos anos 2000 e 2010 (IBGE, 2010).

(3) O consumo per capita foi obtido relacionando-se as variáveis (ressaltando que a série de consumo obtida abrange o período de agosto / 2003 a dezembro / 2012):

- População conforme censo 2000, conforme IBGE, e o consumo residencial médio de água em 2003 (série histórica da COPASA).

- População conforme censo 2010, conforme IBGE, e o consumo residencial médio de água em 2010 (série histórica da COPASA).

(4) O Teste dos Sinais foi aplicado à série histórica de consumo residencial total de água (m³/mês) em Belo Horizonte, por distrito operacional, no período de agosto/2003 a dezembro / 2012 para verificar a existência de tendência na série. O referido teste não refere-se ao consumo residencial per capita médio.

(5) Trata-se do resultado do comando “*signtest*” no programa *Matlab*, que é comparado com o nível de significância adotado (5%), permitindo a verificação de atendimento da hipótese nula (H₀): Se “*p-value*” < 5%, não rejeitar H₀, concluindo-se que não existe tendência, caso contrário (“*p-value*” > 5%), rejeita-se H₀, ou seja, existe tendência.

Figura 6.2 – Evolução do consumo residencial de água em Belo Horizonte, entre agosto / 2003 e outubro / 2012 (registros reais)

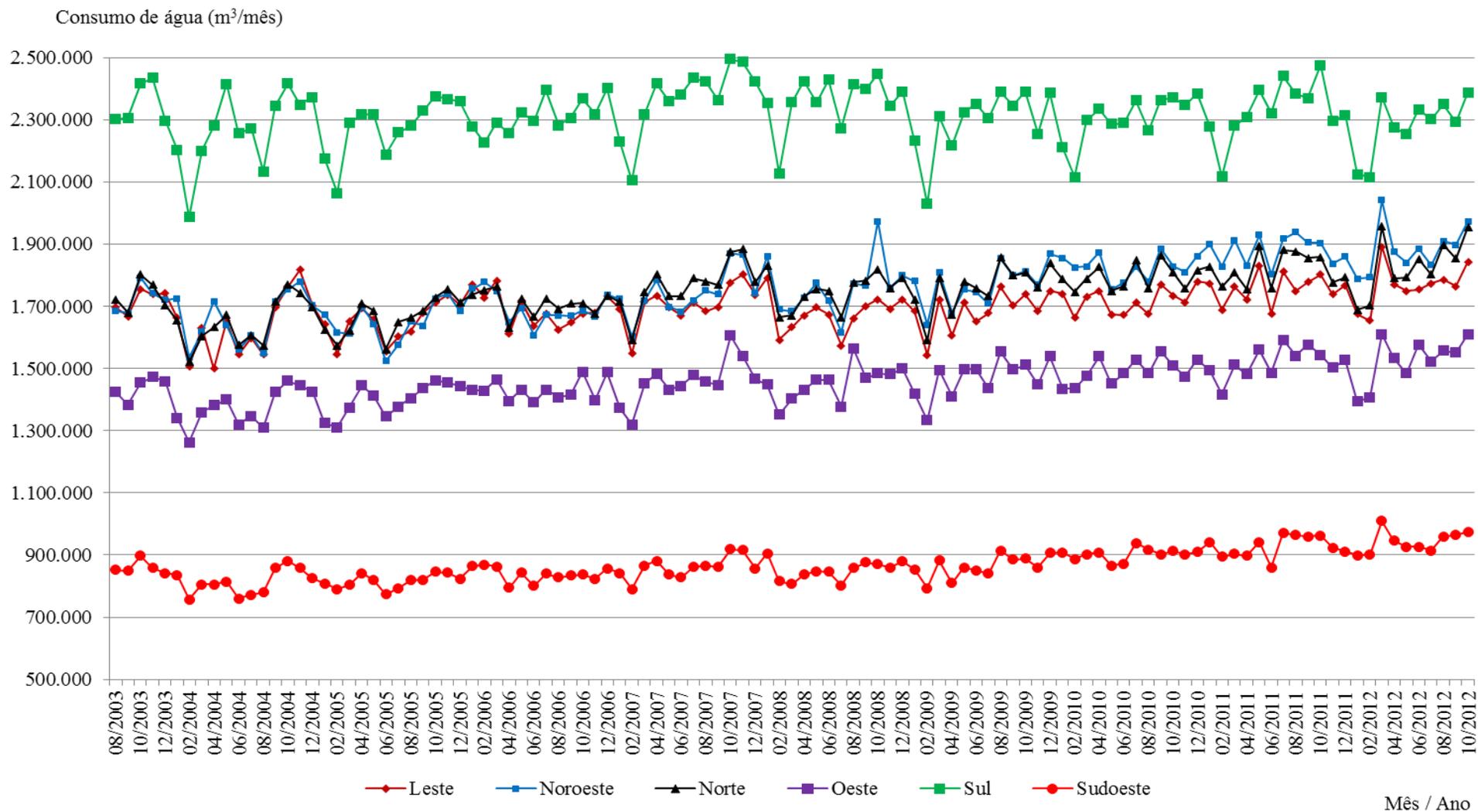
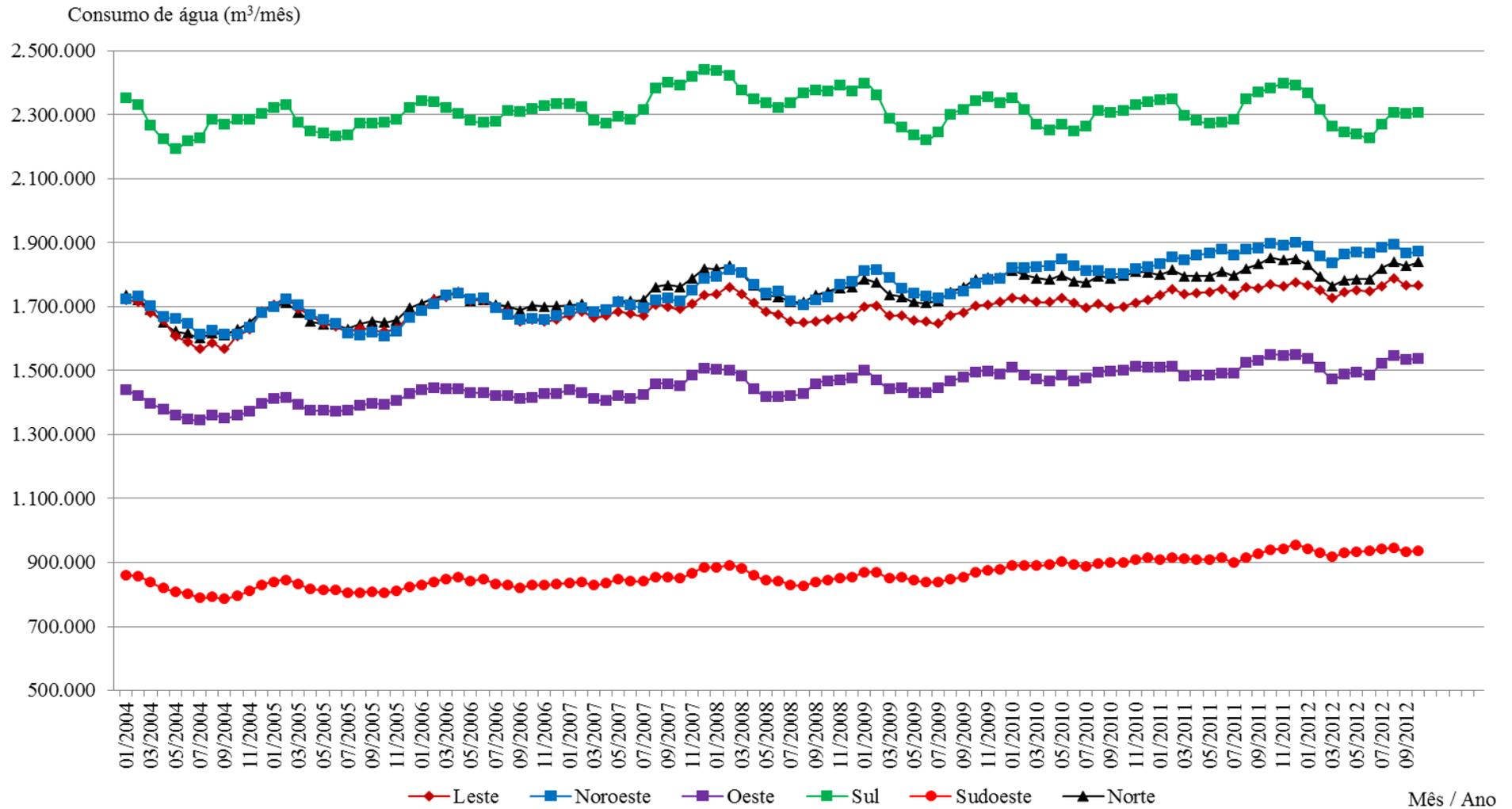


Figura 6.3 – Evolução do consumo residencial em Belo Horizonte, entre agosto / 2003 e outubro / 2012 (médias móveis / ciclo de 5 meses)



Pode ser verificada na Figura 6.2, principalmente para o Distrito Operacional Sul, onde há predominância de população com maior poder aquisitivo, a existência de picos de consumo reduzido nos primeiros meses de cada ano. Tal fato pode ser justificado pelos períodos de férias, quando diversas famílias estão ausentes de suas residências, observando, assim a redução do consumo de água.

O Teste de Sinais¹⁹ é de simples aplicação, sendo utilizado para análise de amostras dependentes e que pode fornecer indícios quanto à existência de tendência na série, pressupondo que a distribuição da variável é contínua. O desenvolvimento do teste nessa seção refere-se à série histórica de consumo residencial total de água em Belo Horizonte, por distrito operacional. Em linhas gerais, para cada distrito operacional da COPASA, subtraiu-se o consumo de água no mês “n+1” do mês “n”, registrando se o sinal da operação é positivo ou negativo e, em seguida, contou-se o número de sinais “positivos” e “negativos”, a fim de verificar a existência de tendência na série histórica. Visto que a base de dados utilizada abrangeu 111 meses, no período de agosto de 2003 e outubro de 2012, ou seja, a aplicação do teste dos sinais resultou em um total de 110 valores (positivos ou negativos).

Além do procedimento descrito, aplicou-se o Teste dos Sinais para cada distrito, utilizando o programa computacional *MatLab*, produzido pela *MathWorks*. Adotando-se nível de significância igual a 5%, por meio do comando “*signtest*”, foram definidas as hipóteses:

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0 \text{ (Hipótese nula): não existe tendência na série histórica} \\ H_1: \text{ existe tendência} \end{array} \right.$$

O referido comando fornece, como resultado, o “*p-value*”, o qual é comparado com o nível de significância adotado, permitindo a verificação de atendimento da hipótese nula. Assim, se “*p-value*” < 5%, H_0 não é rejeitada, concluindo que não existe tendência. Caso contrário (“*p-value*” > 5%), rejeita-se H_0 , ou seja, existe tendência.

A Tabela 6.1 também apresenta os dados populacionais e de consumo residencial *per capita* diário nos anos 2003 e 2010, além dos resultados da aplicação do Teste de Sinais para verificação da existência de tendência na série histórica de consumo de água. Salienta-se que foram obtidos os dados populacionais para os anos 2000 e 2010 (IBGE, 2010), os quais foram

¹⁹ <http://epge.fgv.br/we/Graduacao/Estatistica1/2009/2?action=AttachFile&do=get&target=teste-dos-sinais-wilcoxon-e-mann-whitney.pdf> (acesso em 23/04/2016)

relacionados com os dados de consumo residencial médio de água nos anos 2003 e 2010, respectivamente, fornecidos pela COPASA. Observou-se que:

- O distrito sul, onde as famílias possuem maior renda, é o que apresenta maior consumo *per capita* diário de água (181,8 litros / hab x dia), enquanto o distrito sudoeste, onde as famílias possuem menor renda, apresenta menor consumo (112,9 litros / hab x dia).
- O consumo residencial *per capita* médio diário sofreu variação positiva, entre 1,1% e 14,1%, em três distritos: noroeste, oeste e sudoeste. Por outro lado, sofreu variação negativa, entre 11,3% e 14,9%, nos outros três: norte, leste e sul. Ressalta-se que há dois importantes parâmetros no tocante à análise do consumo *per capita* médio diário por distrito operacional: renda média e a distribuição populacional, ou seja, número de moradores que residem em casas e que residem em apartamentos. Entretanto, não foi possível, devido à organização da base de dados, obter tais parâmetros de modo a compará-los no período estudado.
- O consumo residencial *per capita* médio diário no município de Belo Horizonte sofreu variação negativa de 5% entre os anos 2003 e 2012, período em que houve um aumento populacional de 7,0%.
- O número de “sinais positivos” e “sinais negativos” obtidos a partir da aplicação do Teste de Sinais para cada distrito operacional e para o consumo total foi semelhante, sendo que a maior diferença ocorreu no distrito Leste (51 sinais positivos e 59 sinais negativos). Para o consumo total em Belo Horizonte, foram obtidos 57 sinais positivos e 53 negativos.
- Para o consumo total, verificou-se que o *p-value* também foi inferior ao nível de significância adotado. Desta forma, a aplicação do Teste de sinais permitiu verificar que há um indicativo da inexistência de tendência na série histórica.

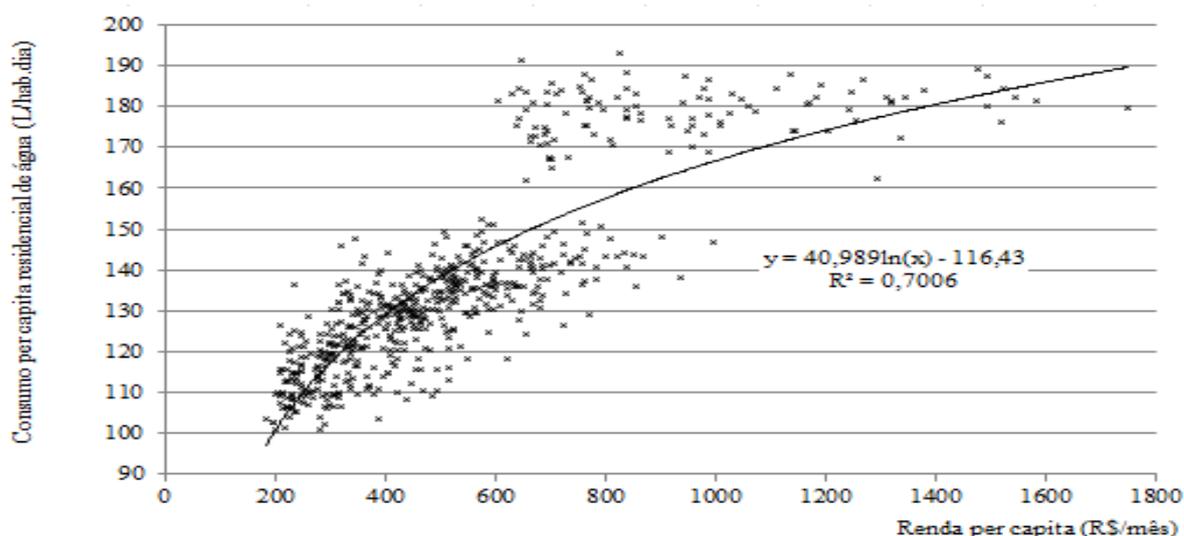
6.1.2 Relação entre o consumo residencial *per capita* de água e a renda *per capita*

O modelo que relaciona o consumo residencial *per capita* de água em função da renda *per capita* para o município de Belo Horizonte, proposto inicialmente por Dias (2008), foi atualizado na presente pesquisa (DIAS *et al.*, 2014), utilizando a base de dados de 111 meses (agosto de 2003 a outubro de 2012) de consumo domiciliar de água fornecido pela COPASA. A partir do referido modelo, foi possível a determinação dos padrões de consumo residencial de água correspondentes às classes socioeconômicas da população, as quais foram

estabelecidas por meio da renda familiar. Foi elaborado, conforme Dias (2008), por meio da análise e processamento do consumo residencial de água em conjunto com os microdados da Pesquisa Mensal de Emprego (PME) (IBGE, 2010), aplicando-se índices deflatores, segundo os parâmetros de reajustes oficiais, sobre a evolução tarifária e os rendimentos mensais, inferindo-se o real poder aquisitivo das famílias em relação ao custo da água.

O modelo de regressão logarítmica foi o que melhor representou a dispersão dos dados, definido pela Equação 6.1 e apresentado na Figura 6.4 (DIAS *et al.*, 2014). Pode-se verificar que a curva possui boa aderência à dispersão dos dados, principalmente para rendas mais baixas. Para rendas elevadas, percebe-se a saturação do consumo de água e a tendência inelástica em relação à renda, observadas na tendência assintótica da cauda direita. Neste caso, o aspecto logarítmico da curva também é abordado por Billings & Jones (2008) quanto à relação as variáveis *consumo residencial de água* em função da *renda*.

Figura 6.4 – Função consumo residencial de água versus renda familiar – curva única



Fonte: Dias, *et al.* (2014)

$$C = 40,989 \times \ln(R) - 116,43 \quad (\text{Equação 6.1), onde:}$$

C: Consumo diário per capita de água, em litros/hab x dia

R: Renda per capita mensal (R\$/mês)

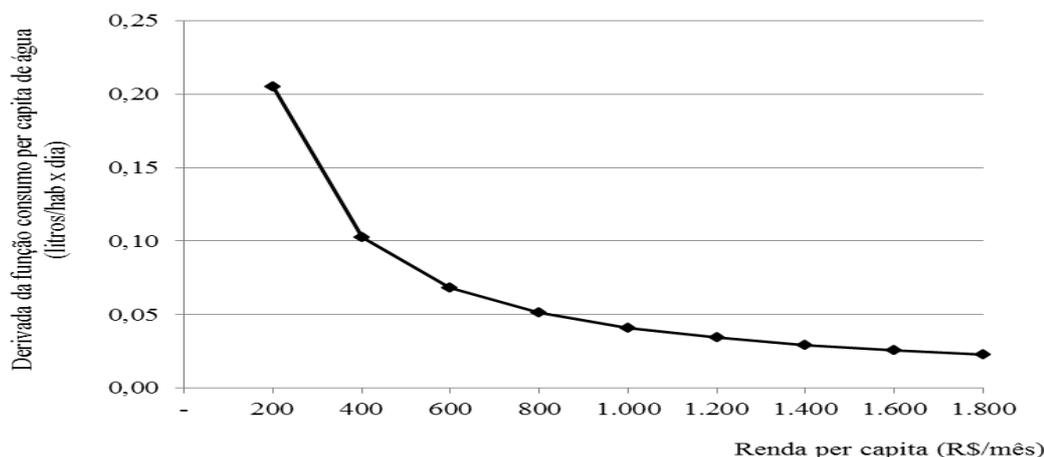
A função derivada do modelo descrito na Equação 6.2 e Figura 6.5 mostra a elasticidade da relação entre o consumo residencial de água e a renda familiar, sendo dada pela Equação 6.2.

$$C' = 40,989 \times 1/x \quad (\text{Equação 6.2), onde:}$$

C': derivada da função consumo diário (em L/hab x dia) *per capita* em função da renda mensal *per capita*.

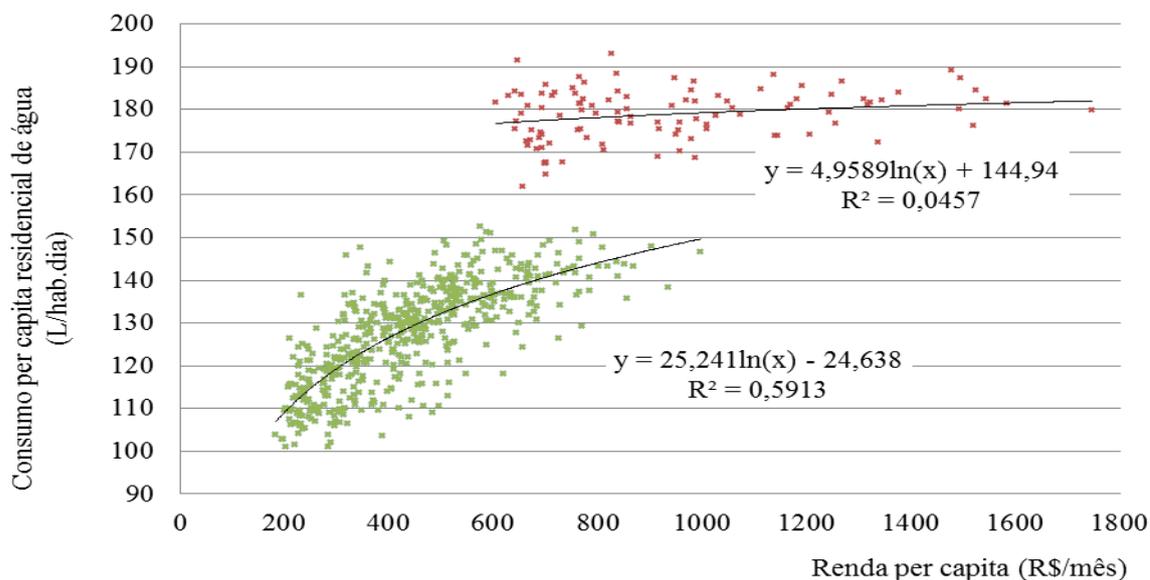
R: Renda per capita mensal (R\$/mês)

Figura 6.5 – Elasticidade da função consumo residencial de água em relação à renda familiar



Foi realizado também o ajuste do modelo por meio de duas curvas relacionando consumo *per capita* diário de água e renda *per capita* mensal, conforme apresentado na Figura 6.6.

Figura 6.6 – Função consumo residencial de água *versus* renda familiar – duas curvas



Fonte: Dias *et al.* (2014)

Os aspectos abordados nesse item constituem objeto de estudos no tocante à função demanda residencial por água e elasticidade-renda, conforme descrito na revisão de literatura. Faria (1995) estimou a elasticidade-renda para a população residente na região metropolitana de Vitória e de Guarapari, no Estado do Espírito Santo. Verificou um maior patamar de consumo

domiciliar de água para rendas mais elevadas, ou seja, para esse grupo, a sensibilidade ao aumento da renda é maior, representada pela utilização de bens domésticos que proporcionam maior conforto, como piscinas e banheiras de hidromassagem, além de construção de casas de maior porte, com jardins e áreas para recreação. Thompson e Lima (2007) observaram que, para a região norte do Estado de Minas Gerais, onde há predominância de população de baixa renda, há um impacto positivo no consumo de água, ou seja, variações da renda acarretam variações no consumo residencial de água, mesmo que não seja no mesmo percentual.

Para o desenvolvimento da pesquisa, optou-se pela utilização do modelo proposto por Dias *et al.* (2014), não obstante as incertezas inerentes ao mesmo, tendo em vista que foram utilizados dados de Belo Horizonte, local que foi tomado como estudo de caso. Assim, a análise das Figuras 6.4, 6.5 e 6.6 permite algumas observações importantes a respeito da relação entre o consumo *per capita* residencial de água e a renda *per capita*, sendo que tal relação é o principal critério para determinação do modelo.

- Para rendas baixas, há maiores variações no consumo de água em decorrência de variações na renda. Tais variações no consumo sofrem redução para rendas maiores, com tendência assintótica da cauda direita da curva;
- A dispersão de pontos indica a existência de diferentes patamares de consumo de água para o mesmo nível de renda *per capita* mensal, fato que pode gerar incertezas adicionais nas estimativas e no estabelecimento do modelo. Destacam-se dois grupos de pontos referentes ao consumo *per capita* de água, em litros / hab x dia, sendo que o primeiro varia de 105 e 155, para rendas mais baixas e o segundo, de 165 e 195, para rendas mais elevadas;
- O modelo contendo duas curvas e estimado para rendas mais altas mostra um baixo R^2 ($= 0,0457$), provavelmente em função do baixo volume de dados e da linearidade da curva, salientando-se a importância da realização de outras análises estatísticas e econométricas.

Foram calculados os diferentes padrões de consumo domiciliar *per capita* de água em função da renda *per capita*, a partir do modelo descrito pela Equação 6.1. Utilizando os parâmetros de renda correspondentes às classes socioeconômicas descritos na Tabela 5.2, o modelo permitiu a obtenção de valores de referência de consumo residencial *per capita* diário de água para Belo Horizonte, os quais estão descritos na Tabela 6.2. Visando otimizar a operacionalização dos dados, conforme já explicado, foram considerados três patamares, calculados pela média ponderada entre o consumo e a população de cada classe socioeconômica – AB, C e DE.

Importante notar que a aplicação do referido modelo resultou em valores de consumo *per capita* diário para o município de Belo Horizonte semelhantes aos que constam na Tabela 6.1, obtidos diretamente pela relação entre o consumo residencial total e a população de cada distrito operacional da COPASA. Tal comparação foi feita considerando-se que o distrito sudoeste é composto predominantemente por famílias de classe socioeconômica DE, os distritos noroeste, norte e leste são compostos, em sua maior parte, por população pertencente à classe C e os distritos sul e oeste, como classe AB.

Tabela 6.2 – Consumo *per capita* residencial de água em função das classes socioeconômicas para o município de Belo Horizonte

| Classes socioeconômicas | Consumo per capita diário (litros/hab x dia) | Agrupamento por classes socioeconômicas | Consumo per capita diário ¹ (litros/hab x dia) |
|-------------------------|--|---|---|
| A | 213 | | |
| B1 | 190 | AB | 175 |
| B2 | 162 | | |
| C1 | 143 | | |
| C2 | 127 | C | 136 |
| D/E | 111 | DE | 111 |

(1) Calculados pela média ponderada entre o consumo e a população das classes socioeconômicas agrupadas, para série histórica que abrange o período de agosto de 2003 a outubro de 2012.

Os parâmetros de consumo domiciliar *per capita* diário de água em função das classes socioeconômicas das famílias podem ser instrumentos úteis nas análises das políticas tarifárias, quanto à determinação dos blocos de consumo e tarifas mínimas, visando à otimização de tais políticas e redução da ocorrência de desperdícios.

Com o intuito de avaliar a consistência do modelo de regressão logarítmica de consumo residencial de água relacionado à renda per capita, Dias *et al.* (2014) utilizaram os dados atualizados – renda per capita, população total e volume de água micromedido registrado pela COPASA – para o período de janeiro a dezembro de 2013, ou seja, após o período cujos dados foram utilizados na determinação do modelo. Calculou-se o consumo de água nos referidos meses por meio da multiplicação do número de habitantes de cada classe socioeconômica e a média de consumo per capita na mesma classificação, obtida pelo modelo. Considerando-se 30 dias no mês, a média estimada de consumo entre janeiro e dezembro de 2013 foi de 10.437.513 m³/mês, enquanto o consumo registrado pela COPASA no mesmo período foi 9.818.046 m³/mês, equivalente a cerca de 6% de diferença, valor que pode ser considerado aceitável levando-se em conta as incertezas inerentes à metodologia.

6.2 Distribuição de edificações residenciais em Belo Horizonte

Visando à realização de análises do potencial de economia de água potável em edificações residenciais unifamiliares (casas) e multifamiliares (edifícios de apartamentos) em escala municipal, foram levantados os quantitativos de edificações existentes em Belo Horizonte, a partir da base de dados fornecida pela Prefeitura Municipal (PMBH). A base de dados, composta pelo levantamento aerofotogramétrico realizado em 2008 e pelo cadastro de Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) atualizado em 2013, foi processada conforme descrito no capítulo de materiais e métodos, a partir dos padrões definidos pela PMBH – P1P2 (baixo), P3 (normal) e P4P5 (alto).

A variabilidade das características das edificações existentes, verificada no levantamento e processamento da base de dados, foi reduzida aos quinze projetos-padrão já descritos, sobre os quais realizaram-se as simulações hidráulicas e financeiras de implantação dos dispositivos economizadores de água. Desta forma, obteve-se o número correspondente de projetos-padrão residenciais existentes em Belo Horizonte, segundo os setores censitários do município.

6.2.1 Edificações residenciais unifamiliares existentes em Belo Horizonte

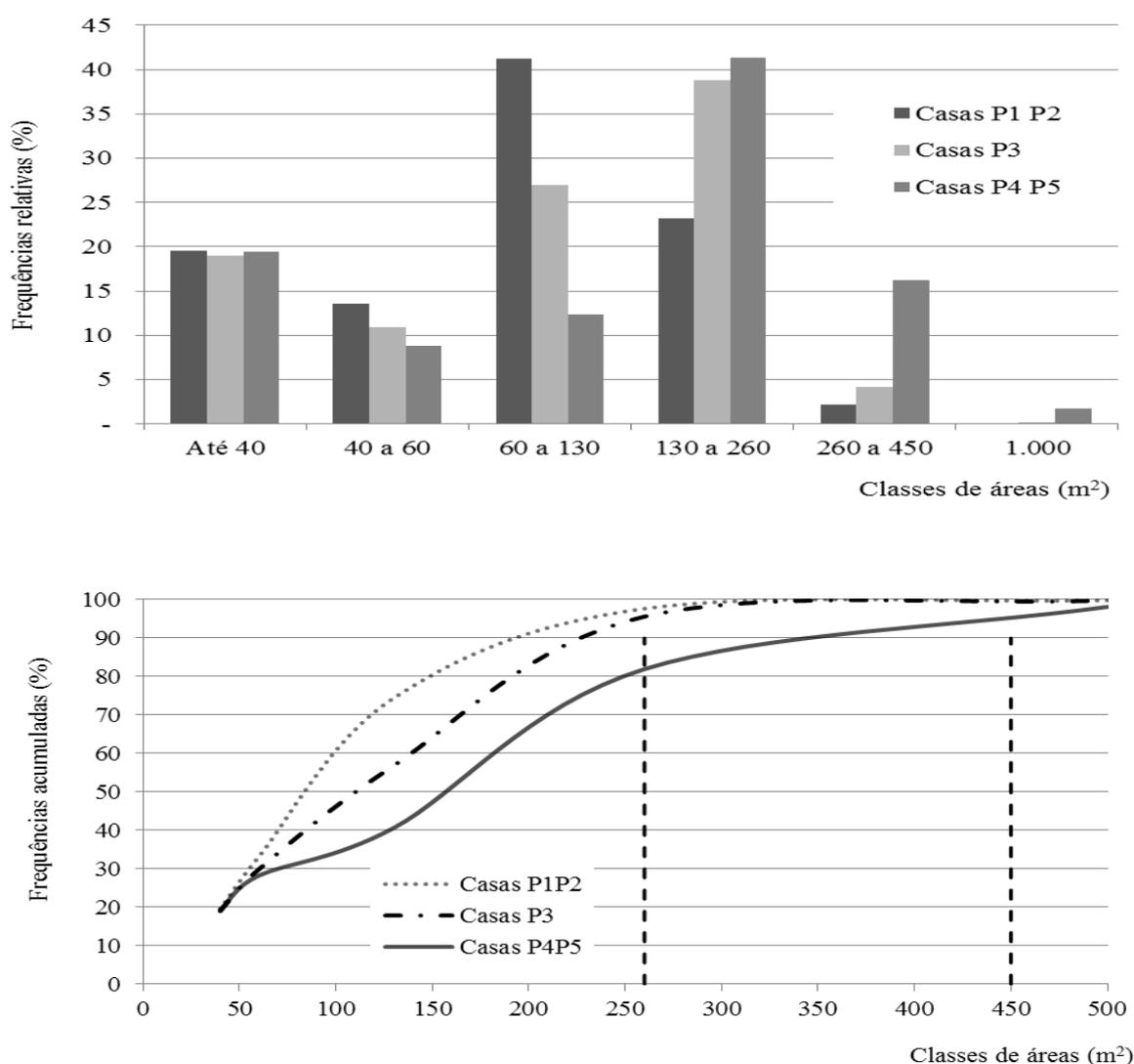
A Tabela 6.3 apresenta as frequências de ocorrência de edificações unifamiliares (casas) em função dos padrões construtivos e das áreas de projeção de cobertura, as quais não coincidem necessariamente com as áreas construídas, notadamente em edificações com dois ou mais pavimentos. A Tabela 6.4 descreve a caracterização simplificada dos dados por meio de estatísticas descritivas, conforme exposto na metodologia. Pode ser verificada na Tabela 6.3 a existência de casas com áreas elevadas, razão pela qual foi aplicado o critério de identificação de *outliers* superiores proposto por Naguettini e Pinto (2007), descrito anteriormente e cujos resultados constam na Tabela 6.4.

A Figura 6.7 apresenta a distribuição de frequências das edificações unifamiliares em função de suas áreas, por meio de histogramas relativos e acumulados. Destacam-se as áreas até 260 m² (padrões P1P2 e P3) e até 450 m² (padrão P4P5), que abrangem percentual superior a 95% das casas com os respectivos padrões. Analisando-se as frequências descritas nas Tabelas 6.3 e 6.4, além da Figura 6.7 e aplicando-se os critérios de identificação de *outliers* superiores, optou-se pelo descarte de casas com áreas superiores às indicadas. Verificou-se que:

- 97,67% das Casas P1P2 possuem área igual ou inferior a 260 m² (total de 266.659 casas);
- 95,62% das Casas P3 possuem área igual ou inferior a 260 m² (total de 120.491 casas);
- 81,95% das Casas P4P5 possuem área igual ou inferior a 260 m² (total de 14.824 casas) e 98,15% possuem área igual ou inferior a 450 m² (total de 17.752 casas).

De forma geral, observou-se que os projetos-padrão de residências unifamiliares definidos em ABNT (2006) possuem boa representatividade das edificações existentes no município até a área de 260 m². Exclusivamente para as Casas P4P5 foi estabelecido um projeto-padrão, denominado “R1-X”, com área de 450 m², descrito no Anexo 1.

Figura 6.7 – Frequências relativas e acumuladas de edificações unifamiliares em Belo Horizonte em 2013



Fonte: Elaboração própria, baseada no cadastro de casas existentes no município de Belo Horizonte (levantamento aerofotogramétrico realizado em 2008 e cadastro de IPTU, atualizado em 2013)

Tabela 6.3 – Frequência de edificações residenciais unifamiliares em Belo Horizonte em 2013

| Faixas de áreas das casas (m ²) | Número de edificações residenciais unifamiliares | | | | % em relação a cada faixa de área ⁽¹⁾ | | | % em relação a cada classificação por padrão construtivo ⁽²⁾ | | | % em relação ao total de edificações ⁽³⁾ | | |
|---|--|---------|--------|---------|--|-------|-------|---|--------|--------|---|-------|------|
| | P1P2 | P3 | P4P5 | Total | P1P2 | P3 | P4P5 | P1P2 | P3 | P4P5 | P1P2 | P3 | P4P5 |
| (10,40] | 53.308 | 23.956 | 3.510 | 80.774 | 66,00 | 29,65 | 4,35 | 19,53 | 19,01 | 19,40 | 12,78 | 5,74 | 0,84 |
| (40,60] | 37.220 | 13.698 | 1.601 | 52.519 | 70,87 | 26,08 | 3,05 | 13,63 | 10,87 | 8,85 | 8,92 | 3,28 | 0,38 |
| (60,130] | 112.711 | 33.995 | 2.239 | 148.945 | 75,68 | 22,82 | 1,50 | 41,28 | 26,97 | 12,38 | 27,04 | 8,15 | 0,54 |
| (130,260] | 63.420 | 48.842 | 7.474 | 119.739 | 52,97 | 40,79 | 6,24 | 23,23 | 38,77 | 41,32 | 15,20 | 11,71 | 1,79 |
| (260,450] | 5.918 | 5.300 | 2.928 | 14.146 | 41,83 | 37,47 | 20,70 | 2,17 | 4,20 | 16,20 | 1,42 | 1,27 | 0,70 |
| (450,1.000] | 341 | 191 | 321 | 853 | 39,98 | 22,39 | 37,63 | 0,13 | 0,15 | 1,77 | 0,08 | 0,05 | 0,08 |
| (1.000,6.000] | 99 | 45 | 16 | 160 | 61,87 | 28,13 | 10,00 | 0,03 | 0,03 | 0,08 | 0,02 | 0,01 | 0,00 |
| TOTAL | 273.017 | 126.027 | 18.089 | 417.133 | - | - | - | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 65,46 | 30,21 | 4,33 |
| | 417.133 | | | - | - | - | | | 100,00 | | | | |

Fonte: Elaboração própria, a partir da base cadastral de edificações residenciais unifamiliares da PMBH, baseado no levantamento aerofogramétrico realizado em 2008 e cadastro de IPTU, atualizado em 2013

(1) Percentual de casas por faixas de áreas. Ex.: 26,08% (= 13.698 / 52.519 x 100%) das casas enquadradas na faixa de 40 a 60 m² são de padrão P3.

(2) Percentual de casas por padrão construtivo. Ex.: 23,23% (= 63.420/273.017 x 100%) das casas P1P2 enquadram-se na faixa de 60 a 130 m².

(3) Percentual de casas em relação ao total existente. Ex.: Dentre o total de casas, 1,79% (= 7.474 / 417.133) classificam-se como P4P5, entre 130 a 260 m².

Tabela 6.4 – Estatísticas descritivas aplicadas às áreas das edificações unifamiliares

| Estatística amostral | | Casas P1P2 | Casas P3 | Casas P4P5 |
|--|--|--------------------|--------------------|--------------------|
| Número de dados | | 273.017 | 126.027 | 18.089 |
| Medidas de tendência central (m ²) | Média aritmética | 97,76 | 119,94 | 167,84 |
| | Mediana | 85,26 | 112,22 | 170,00 |
| Desvio padrão | | 81,08 | 96,35 | 130,13 |
| Coeficiente de variação | | 0,83 | 0,80 | 0,78 |
| Medidas de dispersão (m ²) | 1° quartil (Q ₁) | 48,13 | 50,82 | 51,24 |
| | 3° quartil (Q ₃) | 131,34 | 173,45 | 235,17 |
| | Mínimo | 10,00 | 10,00 | 10,00 |
| | Máximo | 5.438,24 | 5.773,36 | 2.085,64 |
| | Amplitude | 5.428,24 | 5.763,36 | 2.075,64 |
| | AIQ (= Q ₃ – Q ₁) | 83,21 | 122,63 | 183,92 |
| Outlier superior (acima de:) | | 256 m ² | 357 m ² | 511 m ² |

Fonte: Elaboração própria

Desta forma, também a partir da Figura 6.7 e Tabelas 6.3 e 6.4, foi proposta a seguinte correlação entre os projetos-padrão unifamiliares e faixas de áreas das casas existentes:

- Faixa 1 – Área de cobertura (A): $10 < A \leq 40 \text{ m}^2$ – Projeto-Padrão RP1-Q (A: 39,56 m²)
- Faixa 2 – Área de cobertura (A): $40 < A \leq 60 \text{ m}^2$ – Projeto-Padrão R1-B (A: 58,64 m²)
- Faixa 3 – Área de cobertura (A): $60 < A \leq 130 \text{ m}^2$ – Projeto-Padrão R1-N (A: 106,44 m²)
- Faixa 4 – Área de cobertura (A): $130 < A \leq 260 \text{ m}^2$ – Projeto-Padrão R1-A (A: 224,82 m²)
- Faixa 5 – Área de cobertura (A): $260 < A \leq 450 \text{ m}^2$ – Projeto-Padrão R1-X (A: 450,00 m²)

A Tabela 6.5 apresenta a distribuição das casas existentes em Belo Horizonte, em função dos padrões construtivos e faixas de áreas, bem como a correlação com os projetos-padrão correspondentes, ressaltando que os dados descartados referem-se às edificações com área superior a 260 m² para Casas P1P2 e P3 e superior a 450 m² para Casas P4P5.

Tabela 6.5 – Número de casas existentes, segundo os projetos-padrão de residências unifamiliares em Belo Horizonte em 2013

| Padrão construtivo e região administrativa | Padrão baixo | | Padrão normal | Padrão alto | | Número de casas para a pesquisa | | Total de casas | |
|--|------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | RPI-Q | R1-B | R1-N | R1-A | R1-X | Utilizadas | Descartadas | | |
| Casas P1P2 | Barreiro | 9.522 | 6.306 | - | - | - | 15.828 | 997 | 16.825 |
| | Centro-Sul | 2.895 | 1.167 | - | - | - | 4.062 | 208 | 4.270 |
| | Leste | 9.648 | 6.153 | - | - | - | 15.801 | 632 | 16.433 |
| | Nordeste | 11.004 | 7.757 | - | - | - | 18.761 | 812 | 19.573 |
| | Noroeste | 10.290 | 7.434 | - | - | - | 17.724 | 1.114 | 18.838 |
| | Norte | 8.059 | 5.304 | - | - | - | 13.363 | 429 | 13.792 |
| | Oeste | 7.352 | 4.748 | - | - | - | 12.100 | 776 | 12.876 |
| | Pampulha | 8.852 | 5.390 | - | - | - | 14.242 | 702 | 14.944 |
| | Venda Nova | 13.152 | 8.253 | - | - | - | 21.405 | 689 | 22.094 |
| | Sub-total | 80.774 | 52.512 | - | - | - | 133.286 | 6.359 | 139.645 |
| Casas P3 | Barreiro | - | - | 20.963 | - | - | 20.963 | 477 | 21.440 |
| | Centro-Sul | - | - | 2.147 | - | - | 2.147 | 739 | 2.886 |
| | Leste | - | - | 17.611 | - | - | 17.611 | 514 | 18.125 |
| | Nordeste | - | - | 22.042 | - | - | 22.042 | 457 | 22.499 |
| | Noroeste | - | - | 21.460 | - | - | 21.460 | 774 | 22.234 |
| | Norte | - | - | 15.359 | - | - | 15.359 | 281 | 15.640 |
| | Oeste | - | - | 12.424 | - | - | 12.424 | 592 | 13.016 |
| | Pampulha | - | - | 13.414 | - | - | 13.414 | 1.238 | 14.652 |
| | Venda Nova | - | - | 23.527 | - | - | 23.527 | 464 | 23.991 |
| | Sub-total | - | - | 148.947 | - | - | 148.947 | 5.536 | 154.483 |
| Casas P4P5 | Barreiro | - | - | - | 16.115 | 56 | 16.171 | - | 16.171 |
| | Centro-Sul | - | - | - | 5.533 | 1.299 | 6.832 | 177 | 7.009 |
| | Leste | - | - | - | 13.424 | 77 | 13.501 | 1 | 13.502 |
| | Nordeste | - | - | - | 14.491 | 64 | 14.555 | 1 | 14.556 |
| | Noroeste | - | - | - | 18.193 | 83 | 18.276 | 5 | 18.281 |
| | Norte | - | - | - | 10.079 | 54 | 10.133 | - | 10.133 |
| | Oeste | - | - | - | 11.909 | 162 | 12.071 | 5 | 12.076 |
| | Pampulha | - | - | - | 15.299 | 1.078 | 16.377 | 147 | 16.524 |
| | Venda Nova | - | - | - | 14.695 | 57 | 14.752 | 1 | 14.753 |
| | Sub-total | - | - | - | 119.738 | 2.930 | 122.668 | 337 | 123.005 |
| TOTAL GERAL | 80.774 | 52.512 | 148.947 | 119.738 | 2.930 | 404.901 | 12.232 | 417.133 | |

Fonte: Elaboração própria

6.2.2 Edificações residenciais multifamiliares existentes em Belo Horizonte

A Tabela 6.6 apresenta as frequências relativas e acumuladas de ocorrência de edifícios residenciais multifamiliares em função das faixas de área de cobertura, buscando facilitar o enquadramento com as áreas de projeção de cobertura dos projetos-padrão. Seguindo os procedimentos realizados para as edificações unifamiliares, aplicou-se o critério proposto por Naguettini e Pinto (2007) para a identificação de *outliers* superiores, referentes aos edifícios com áreas de projeção de cobertura elevadas. Os resultados e a caracterização dos dados por meio de estatísticas descritivas estão descritos na Tabela 6.7.

Contudo, verificou-se que a aplicação apenas do referido critério excluiria 2.344 edifícios, equivalente a 11,6% da amostra original, valor que foi considerado elevado. Optou-se então por incluir edifícios com áreas de projeção de cobertura de até 1.000 m² para os padrões P1P2 e P3 e até 1.400 m² para P4P5. Desta forma, foram incluídos na pesquisa 19.208 edifícios (95,1% do total) e excluídos 999 edifícios (4,9% do total), sendo:

- 3.590 edifícios P1P2 (93,13% do total, com exclusão de 265 edifícios);
- 12.821 edifícios P3 (96,81% do total, com exclusão de 422 edifícios) e
- 2.797 edifícios P4P5 (89,96% do total, com exclusão de 312 edifícios).

A Figura 6.8 apresenta os histogramas de frequências relativas e acumuladas com a distribuição dos edifícios residenciais multifamiliares em Belo Horizonte quanto às áreas de projeção de cobertura e classes construtivas, destacando as áreas de 1.000 m², para as classes P1P2 e P3 e 1.400 m² para P4P5. Salienta-se que a inclusão dos dados implicou na proposição de novos projetos-padrão, denominados R8-X e R8-Y, com áreas de projeção de cobertura de 750 m² e 1.400 m², respectivamente, os quais estão detalhados no Anexo 1.

A Tabela 6.8 descreve os dois critérios usados no enquadramento entre os projetos-padrão e os edifícios residenciais multifamiliares existentes em Belo Horizonte, conforme explicitado na metodologia:

- Critério 1: às áreas de projeção de cobertura dos edifícios;
- Critério 2: à altura dos edifícios. A Tabela 6.9 apresenta a correlação entre os projetos-padrão e a distribuição dos edifícios existentes nas regiões administrativas do município, de acordo com os padrões construtivos.

Tabela 6.6 – Frequência de edificações residenciais multifamiliares em Belo Horizonte em 2013

| Faixas de áreas das edificações (em m ²) | Número de edifícios residenciais | | | | % em relação a cada faixa de área ⁽¹⁾ | | | % em relação a cada classificação por padrão construtivo ⁽²⁾ | | | % em relação ao total de edifícios ⁽³⁾ | | |
|--|----------------------------------|--------|-------|--------|--|-------|-------|---|-------|-------|---|-------|--------|
| | P1P2 | P3 | P4P5 | Total | P1P2 | P3 | P4P5 | P1P2 | P3 | P4P5 | P1P2 | P3 | P4P5 |
| [60,200) | 728 | 3.543 | 510 | 4.781 | 15,23 | 74,10 | 10,67 | 18,88 | 26,75 | 16,40 | 3,60 | 17,53 | 2,52 |
| [200,220) | 374 | 1.676 | 137 | 2.187 | 17,10 | 76,64 | 6,26 | 9,70 | 12,66 | 4,41 | 1,85 | 8,29 | 0,68 |
| [220,370) | 1.641 | 4.958 | 657 | 7.256 | 22,62 | 68,33 | 9,05 | 42,58 | 37,43 | 21,14 | 8,12 | 24,57 | 3,25 |
| [370,600] | 613 | 1.835 | 605 | 3.053 | 20,08 | 60,10 | 19,82 | 15,90 | 13,86 | 19,46 | 3,03 | 9,08 | 2,99 |
| [600,700) | 99 | 309 | 164 | 572 | 17,31 | 54,02 | 28,67 | 2,57 | 2,33 | 5,28 | 0,49 | 1,53 | 0,81 |
| [700,1.000) | 135 | 500 | 422 | 1.057 | 12,77 | 47,31 | 39,92 | 3,50 | 3,78 | 13,57 | 0,67 | 2,47 | 2,09 |
| [1.000,1.400) | 85 | 206 | 302 | 593 | 14,33 | 34,74 | 50,93 | 2,20 | 1,56 | 9,71 | 0,42 | 1,02 | 1,49 |
| [1.400, 2.000) | 51 | 132 | 200 | 383 | 13,32 | 34,46 | 52,22 | 1,32 | 1,00 | 6,43 | 0,25 | 0,65 | 0,99 |
| [2.000,6.000) | 129 | 84 | 112 | 325 | 39,69 | 25,85 | 34,46 | 3,35 | 0,63 | 3,60 | 0,64 | 0,42 | 0,55 |
| Total | 3.855 | 13.243 | 3.109 | 20.207 | - | - | - | - | - | - | 19,07 | 65,56 | 15,37 |
| | | 20.207 | | - | | - | | | - | | | | 100,00 |

Fonte: Elaboração própria, a partir da base cadastral de edificações residenciais multifamiliares da PMBH, baseado no levantamento aerofogramétrico realizado em 2008 e cadastro de IPTU, atualizado em 2013. Refere-se ao número total de edifícios considerados na pesquisa.

- (1) Percentual de edifícios por faixas de áreas. Ex.: 74,10% (= 3.543 / 4.781 x 100%) dos edifícios enquadrados na faixa de 60 a 200 m² são de padrão P3.
(2) Percentual de edifícios por padrão construtivo. Ex.: 42,58% (= 1.641 / 3.855 x 100%) dos edifícios P1P2 enquadram-se na faixa de 220 a 370 m².
(3) Percentual de edifícios em relação ao total existente. Ex.: Dentre o total de edifícios, 2,99% (= 605 / 20.207) classificam-se como P4P5, entre 370 a 600 m².

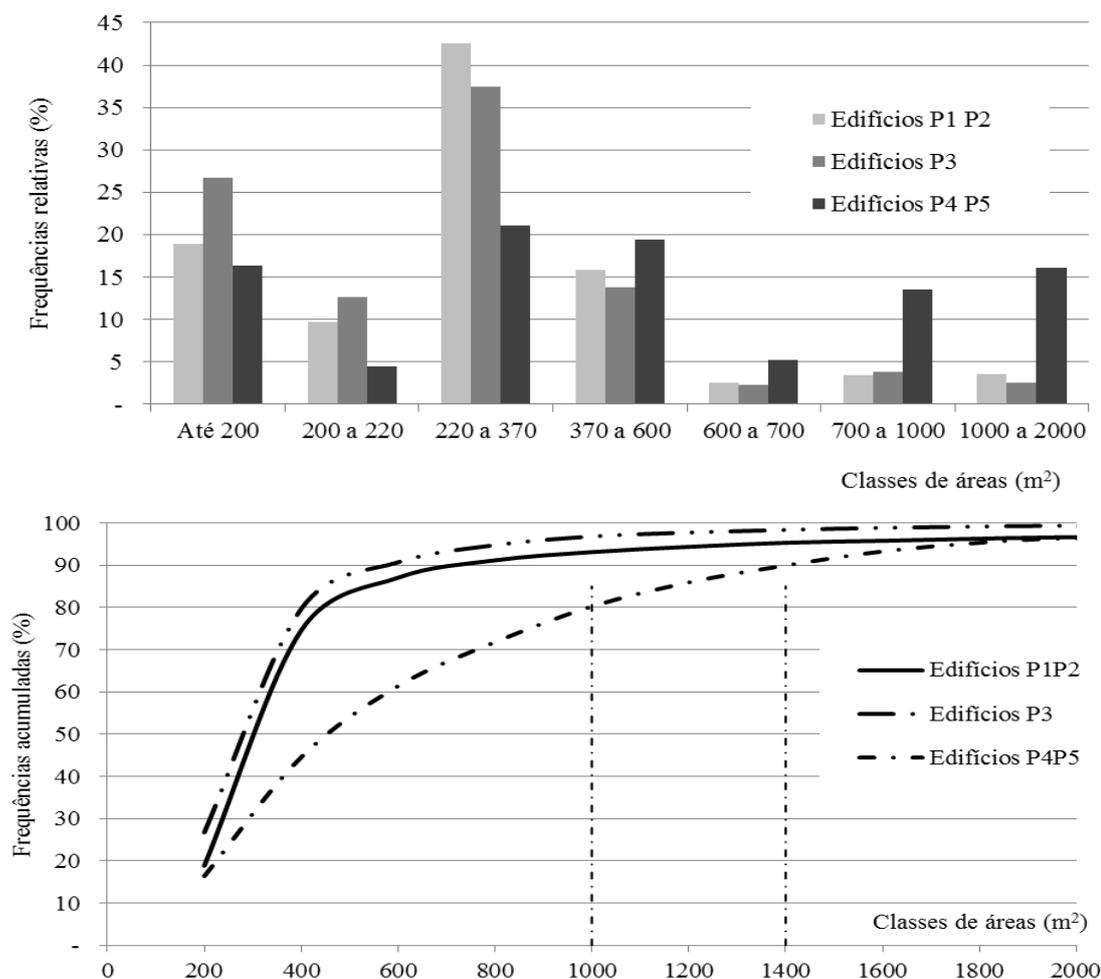
Tabela 6.7 – Estatísticas descritivas aplicadas à base de dados de edifícios multifamiliares

| Estatística amostral | | Edifícios P1P2 | Edifícios P3 | Edifícios P4P5 |
|--|--|--------------------|--------------------|----------------------|
| Número de dados | | 3.855 | 13.243 | 3.109 |
| Medidas de tendência central (m ²) | Média aritmética | 466,64 | 338,32 | 660,93 |
| | Mediana | 269,94 | 239,70 | 456,45 |
| Desvio padrão | | 769,67 | 354,09 | 790,31 |
| Coeficiente de variação | | 1,65 | 1,05 | 1,20 |
| Medidas de dispersão (m ²) | 1º quartil (Q ₁) | 212,39 | 197,17 | 237,02 |
| | 3º quartil (Q ₃) | 403,02 | 352,04 | 868,95 |
| | Mínimo | 20,00 | 20,00 | 20,00 |
| | Máximo | 12.076,46 | 10.872,48 | 28.099,28 |
| | Amplitude | 12.061,47 | 10.862,04 | 28.088,22 |
| | AIQ (= Q ₃ – Q ₁) | 190,64 | 154,87 | 1.816,85 |
| Outlier superior (área, em m ² , acima de): | | 689 m ² | 584 m ² | 1.817 m ² |

Fonte: Elaboração própria

(1) Refere-se às áreas de coberturas dos edifícios, em m²

Figura 6.8 - Frequências relativas e acumuladas de edificações multifamiliares em Belo Horizonte em 2013



Fonte: Elaboração própria, baseada no cadastro de edifícios existentes no município de Belo Horizonte (levantamento aerofogramétrico realizado em 2008 e cadastro de IPTU, atualizado em 2013)

Tabela 6.8 – Critérios de enquadramento dos edifícios com os projetos-padrão

| Critério 1: Áreas de projeção de cobertura (m ²) | Critério 2: Altura dos edifícios (m) | Enquadramento com os projetos-padrão | | Número de edificações multifamiliares, conforme padrões construtivos | | | | | | |
|--|--|---|---------------|--|------------|------------|------------|------------|------------|----------------------|
| | | | | P1P2 | | P3 | | P4P5 | | Total ⁽¹⁾ |
| | | | | Critério 1 | Critério 2 | Critério 1 | Critério 2 | Critério 1 | Critério 2 | |
| A < 200 | - | PIS | Padrão baixo | 1.781 | - | - | - | - | - | 1.781 |
| 200 ≤ A < 220 | H < 17 | PP-B | Padrão baixo | 937 | 678 | - | - | - | - | 678 |
| | H ≥ 17 | R8-B | | | 259 | | | | | 259 |
| 220 ≤ A < 370 | H < 20 | PP-N | Padrão normal | - | - | 8.314 | 5.932 | - | - | 5.932 |
| | 20 ≤ H < 35 | R8-N | | | | | 1.258 | | | 1.258 |
| | H ≥ 35 | R16-N | | | | | 1.124 | | | 1.124 |
| 370 ≤ A < 750 | H < 35 | R8-A | Padrão alto | - | - | - | - | 6.231 | 4.972 | 4.972 |
| | H ≥ 35 | R16-A | | | | | | | 1.259 | 1.259 |
| 750 ≤ A < 1.000 | H < 35 | R8-X | Padrão alto | - | - | - | - | 919 | - | 919 |
| 1.000 ≤ A < 1.400 | H < 35 | R8-Y | Padrão normal | - | - | 1.026 | - | - | - | 1.026 |
| Total | | | | 2.718 | - | 9.340 | - | 7.150 | - | 19.208 |

Fonte: Elaboração própria

(1) 19.208 (número de edifícios considerados na pesquisa) + 999 (número de edifícios descartados) = 20.207 (número total de edifícios)

Tabela 6.9 – Número de edifícios existentes, segundo os projetos-padrão de residências multifamiliares (edifícios) em Belo Horizonte em 2013

| Região Administrativa e Padrão Construtivo | Projetos-Padrão de edificações multifamiliares | | | | | | | | | | Edifícios utilizados na pesquisa | Edifícios descartados | Total de edifícios | |
|--|--|------|------|---------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|----------------------------------|-----------------------|--------------------|-------|
| | Padrão baixo | | | Padrão normal | | | | Padrão alto | | | | | | |
| | PIS | PP-B | R8-B | PP-N | R8-N | R8-Y | R16-N | R8-A | R8-X | R16-A | | | | |
| Edifícios P1P2 | Barreiro | 322 | 96 | 51 | - | - | - | - | - | - | - | 469 | 33 | 502 |
| | Centro-Sul | 91 | 30 | 8 | - | - | - | - | - | - | - | 129 | 44 | 173 |
| | Leste | 199 | 90 | 26 | - | - | - | - | - | - | - | 315 | 34 | 349 |
| | Nordeste | 212 | 64 | 25 | - | - | - | - | - | - | - | 301 | 35 | 336 |
| | Noroeste | 208 | 82 | 19 | - | - | - | - | - | - | - | 309 | 41 | 350 |
| | Norte | 192 | 63 | 34 | - | - | - | - | - | - | - | 289 | 32 | 321 |
| | Oeste | 198 | 91 | 22 | - | - | - | - | - | - | - | 311 | 18 | 329 |
| | Pampulha | 104 | 43 | 9 | - | - | - | - | - | - | - | 156 | 15 | 171 |
| | Venda Nova | 255 | 119 | 65 | - | - | - | - | - | - | - | 439 | 13 | 452 |
| Sub-total / Edifícios P1P2 | 1.781 | 678 | 259 | - | - | - | - | - | - | - | 2.718 | 265 | 2.983 | |
| Edifícios P3 | Barreiro | - | - | - | 362 | 93 | 44 | 39 | - | - | - | 538 | 36 | 574 |
| | Centro-Sul | - | - | - | 1.194 | 266 | 350 | 401 | - | - | - | 2.211 | 71 | 2.282 |
| | Leste | - | - | - | 520 | 36 | 75 | 74 | - | - | - | 705 | 60 | 765 |
| | Nordeste | - | - | - | 404 | 78 | 39 | 10 | - | - | - | 531 | 55 | 586 |
| | Noroeste | - | - | - | 415 | 55 | 66 | 72 | - | - | - | 608 | 54 | 662 |
| | Norte | - | - | - | 580 | 85 | 41 | 46 | - | - | - | 752 | 36 | 788 |
| | Oeste | - | - | - | 697 | 116 | 86 | 63 | - | - | - | 962 | 53 | 1.015 |
| | Pampulha | - | - | - | 1.404 | 446 | 236 | 321 | - | - | - | 2.407 | 33 | 2.440 |
| | Venda Nova | - | - | - | 356 | 83 | 89 | 98 | - | - | - | 626 | 24 | 650 |
| Sub-total / Edifícios P3 | - | - | - | 5.932 | 1.258 | 1.026 | 1.124 | - | - | - | 9.340 | 422 | 9.762 | |
| Edifícios P4P5 | Barreiro | - | - | - | - | - | - | - | 307 | 4 | 21 | 332 | 3 | 335 |
| | Centro-Sul | - | - | - | - | - | - | - | 1.248 | 303 | 387 | 1.938 | 238 | 2.176 |
| | Leste | - | - | - | - | - | - | - | 315 | 13 | 26 | 354 | 10 | 364 |
| | Nordeste | - | - | - | - | - | - | - | 401 | 9 | 38 | 448 | 19 | 467 |
| | Noroeste | - | - | - | - | - | - | - | 288 | 13 | 46 | 347 | 2 | 349 |
| | Norte | - | - | - | - | - | - | - | 309 | 65 | 76 | 450 | - | 450 |
| | Oeste | - | - | - | - | - | - | - | 658 | 204 | 298 | 1.160 | 21 | 1.181 |
| | Pampulha | - | - | - | - | - | - | - | 1.147 | 299 | 351 | 1.797 | 19 | 1.816 |
| | Venda Nova | - | - | - | - | - | - | - | 299 | 9 | 16 | 324 | - | 324 |
| Sub-total / Edifícios P4P5 | - | - | - | - | - | - | - | 4.972 | 919 | 1.250 | 7.150 | 312 | 7.462 | |
| Total | 1.781 | 678 | 259 | 5.932 | 1.258 | 1.026 | 1.124 | 4.972 | 919 | 1.250 | 19.208 | 999 | 20.207 | |

Fonte: Elaboração própria

6.2.3 Distribuição das edificações residenciais conforme classes socioeconômicas

As edificações residenciais existentes no município – casas e edifícios –, distribuídas segundo seus padrões construtivos – P1P2, P3 e P4P5 –, conforme a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PMBH) foram correlacionadas com os quinze projetos-padrão adotados e as três classes socioeconômicas da população – AB, C e DE –, definidas em função da renda familiar (IBGE, 2010). Genericamente, o cruzamento dos dados possibilitou a relação entre as classes socioeconômicas e os padrões construtivos, conforme o seguinte critério:

- Toda a população das classes socioeconômicas DE foi distribuída em edificações residenciais padrão P1P2 (PMBH) ou baixo (ABNT, 2006);
- Toda a população de classe socioeconômica C foi distribuída em edificações residenciais padrão P3 (PMBH) ou normal (ABNT, 2006);
- Toda a população das classes socioeconômicas AB foi distribuída em edificações residenciais padrão P4P5 (PMBH) ou alto (ABNT, 2006).

A Tabela 6.10 apresenta o número de edificações residenciais existentes, enquadradas com os respectivos projetos-padrão e classes socioeconômicas. Quantificou-se a população residente, adotando-se 3,1 habitantes por domicílio (IBGE, 2010), a fim de permitir a comparação com a distribuição populacional para o município de Belo Horizonte. A referida tabela foi utilizada nas extrapolações e análises, em escala municipal, das simulações hidráulicas desenvolvidas para cada um dos três dispositivos que proporcionem redução do consumo residencial de água. O potencial de economia de água potável em larga escala foi calculado relacionando-se o número de domicílios e o potencial de economia de água, proporcionado por cada um dos referidos dispositivos, conforme as classes socioeconômicas e padrões construtivos.

6.2.4 Análise de erros relativos quanto à distribuição populacional nos domicílios

O critério explicitado foi verificado quanto à distribuição populacional nos domicílios segundo as três classes socioeconômicas e padrões construtivos, conforme Tabela 6.10. Calculou-se a população em cada classe e o respectivo percentual em relação à população total, comparando-os com as proporções levantadas em IBGE (2010), obtendo-se os seguintes erros relativos: -4,66% para a classe AB; -2,37%, para a classe C; 7,03% para a classe DE. Tais erros são considerados baixos, tendo em vista as incertezas inerentes às bases de dados, o uso de valores médios de número de habitantes por domicílio, descarte de edificações residenciais da amostra, dentre outros.

Tabela 6.10 – Número de edificações existentes e enquadramento com projetos-padrão por classes socioeconômicas e padrão construtivo em 2013

| Classes socioeconômicas Padrões construtivos NBR 12.721:2006 ⁽¹⁾ e PMBH ⁽¹⁾ | Projetos-padrão residenciais | Edificações residenciais existentes no município | | Número total de apartamentos ⁽²⁾ | População ⁽³⁾ distribuída nas residências conforme classe socioeconômica | | | |
|--|-----------------------------------|---|-----------|---|--|-----------|-----------|---------|
| | | Casas | Edifícios | | AB | C | DE | |
| Classe DE | Unifamiliares | RP1-Q | 80.774 | - | - | - | - | 250.399 |
| | | R1-B | 52.512 | - | - | - | - | 162.787 |
| Padrão construtivo baixo (Padrão P1P2) | Multifamiliares | PIS | - | 1.781 | 35.620 | - | - | 110.422 |
| | | PP-B | - | 678 | 10.848 | - | - | 33.629 |
| | | R8-B | - | 259 | 8.288 | - | - | 25.639 |
| Classe C | Unifamiliares | R1-N | 148.947 | - | - | - | 461.736 | - |
| | | PP-N | - | 5.932 | 94.912 | - | 294.227 | - |
| Padrão construtivo normal (Padrão P3) | Multifamiliares | R8-N | - | 1.258 | 40.256 | - | 124.794 | - |
| | | R8-Y | - | 1.026 | 65.664 | - | 203.558 | - |
| | | R16-N | - | 1.124 | 71.936 | - | 223.002 | - |
| Classe AB | Unifamiliares | R1-A | 119.738 | - | - | 371.188 | - | - |
| | | R1-X | 2.930 | - | - | 9.083 | - | - |
| Padrão construtivo alto (Padrão P4P5) | Multifamiliares | R8-A | - | 4.972 | 79.552 | 246.611 | - | - |
| | | R8-X | - | 919 | 29.408 | 91.165 | - | - |
| | | R16-A | - | 1.259 | 40.288 | 124.893 | - | - |
| | Total de edificações e domicílios | | 404.901 | 19.208 | 476.772 | - | - | - |
| - | População total | | 1.255.193 | - | 1.477.993 | 842.940 | 1.307.317 | 582.930 |
| | | | | | 2.733.186 | 2.733.186 | | |
| Distribuição populacional estimada conforme quantitativos de projetos-padrão (edificações existentes): | | | | | | 30,84% | 47,83% | 21,33% |
| Distribuição populacional em Belo Horizonte conforme censo 2010 (IBGE, 2010) (ver Tabela 5.3): | | | | | | 35,50% | 50,20% | 14,30% |
| Diferença percentual entre a distribuição populacional descrita no critério acima e nos dados censitários: | | | | | | -4,66% | -2,37% | 7,03% |

Fonte: Elaboração própria

(1) ABNT (2006) e Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PMBH); (2) Calculado com base nos dados contidos no Anexo 1.

(2) Considerou-se média de 3,1 moradores por domicílio (IBGE, 2010), conforme explicitado na Tabelas 5.1 e 5.3.

6.3 Aspectos hidrológicos

A Tabela 6.11 e a Figura 6.9 descrevem as precipitações registradas pela estação Caixa de Areia no período de 1988 a 2012, perfazendo 25 anos: médias mensais, ano mais chuvoso e ano mais seco. Os meses de maio a agosto são eminentemente secos, com precipitações médias mensais inferiores a 50 mm e os meses de janeiro e dezembro, os mais chuvosos, registram níveis médios mensais superiores a 300 mm cada um.

Destacam-se o ano de 1990 como o mais seco e o ano 2009 como o mais chuvoso. A série histórica de 25 anos indica que a precipitação anual média é de 1.608 mm, ocorrendo chuvas em cerca de 30% dos dias, sendo que houve precipitações inferiores a 1.400 mm em 4 anos, precipitações superiores a 1.800 mm em 6 anos e, nos demais, a precipitação registrada esteve entre 1.400 e 1.800 mm. Para o ano mais seco – 1990 –, houve chuvas em 27% dos dias e, no mais chuvoso – 2009 –, em 35% dos dias.

Tabela 6.11 – Registros pluviométricos da série histórica de precipitações registradas na Estação Caixa de Areia

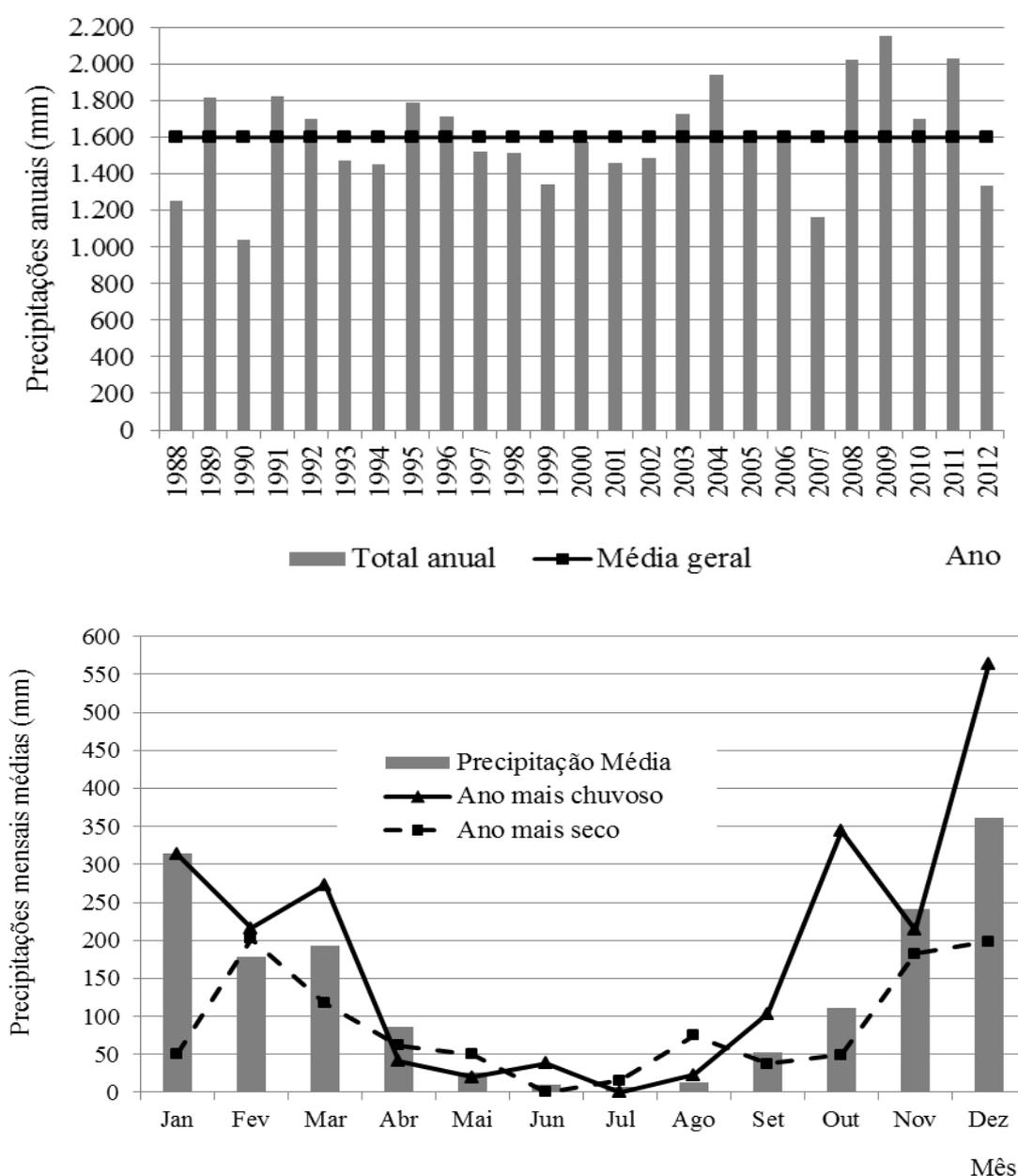
| Meses | Média | Mediana | Desvio Padrão | Dias sem chuva |
|-----------|-------|---------|---------------|----------------|
| Janeiro | 321 | 306 | 173 | 18 |
| Fevereiro | 186 | 194 | 81 | 16 |
| Março | 198 | 196 | 95 | 19 |
| Abril | 78 | 69 | 45 | 25 |
| Maio | 26 | 21 | 21 | 28 |
| Junho | 10 | 3 | 13 | 28 |
| Julho | 6 | 1 | 11 | 30 |
| Agosto | 15 | 5 | 20 | 28 |
| Setembro | 56 | 59 | 35 | 24 |
| Outubro | 108 | 87 | 79 | 19 |
| Novembro | 244 | 220 | 79 | 15 |
| Dezembro | 361 | 339 | 143 | 9 |

As simulações de aproveitamento de água de chuva foram realizadas para o período corresponde à série histórica de precipitações (25 anos), salientando-se que o dimensionamento dos reservatórios é função do perfil diário de chuvas, além das sequências

diárias de ocorrência de chuvas, estiagem, dentre outros fatores. As precipitações totais nos anos 2013 e 2014, foram de 1.733 mm e 1.120 mm, respectivamente, conforme registros realizados pela Estação Caixa de Areia. Contudo, verificou-se que, não obstante as baixas precipitações ocorridas em 2014, o ano de 1990 continua sendo o mais seco da série histórica analisada.

Conforme mencionado anteriormente, ressalva-se que não foram consideradas as interferências das mudanças climáticas nos regimes de chuvas, tendo em vista a variabilidade das projeções, em função dos modelos utilizados e das regiões analisadas.

Figura 6.9 – Precipitações anuais e mensais em Belo Horizonte – Estação Caixa de Areia



Fonte: Estação Pluviométrica Caixa de Areia, operada pela Agência Nacional das Águas (ANA)

6.4 Estimativas de demanda residencial de água

Foram consideradas duas opções de demandas residenciais de água não potável: (i) demanda fixa, em função das demandas totais de água no domicílio; (ii) demanda variável, em função dos pontos de consumo, para as quais foram calculados os usos específicos de água não potável – descarga sanitária, lavagem de pisos e irrigação de jardins –, ao longo dos 9.115 dias da série histórica de precipitações. Tais demandas foram utilizadas no dimensionamento do sistema de aproveitamento de água de chuva e nas demais análises hidráulicas.

Para o desenvolvimento da primeira opção de demanda (fixa), tornou-se necessário estabelecer um percentual, a ser aplicado sobre a demanda total, de modo a obter a demanda de água não potável. Conforme pesquisas já mencionadas, tais como Gonçalves (2009) e Vieira (2012), o nível de consumo residencial de água não potável em relação ao consumo total, em âmbito nacional, é de cerca de 40%. No âmbito internacional, Ghisi *et al.* (2007a) apontam níveis de demanda de água não potável, em relação ao consumo domiciliar total, de 46% no Reino Unido, 40% nos Estados Unidos e 51% na Suíça.

Na presente pesquisa, optou-se por adotar o percentual de 40% de uso de água não potável em relação ao consumo total domiciliar. A Tabela 6.12 apresenta os padrões de consumo *per capita* domiciliar para as classes socioeconômicas, calculados a partir do modelo proposto por Dias *et al.* (2014). Sobre os referidos padrões, incidiu-se o percentual de 40%, obtendo-se os resultados quanto ao consumo domiciliar de água não potável por classe socioeconômica.

Tabela 6.12 – Consumo de água potável e não potável conforme classificação social

| Classes socioeconômicas | Consumo per capita total de água ⁽¹⁾ (litros/hab x dia) | Número médio de habitantes por domicílio | Consumo total de água (litros/dia) | Consumo total de água não potável ⁽²⁾ (litros/dia) |
|-------------------------|--|--|------------------------------------|---|
| AB | 175 | | 525 | 210,0 |
| C | 136 | 3 | 408 | 163,2 |
| DE | 111 | | 333 | 133,2 |

Fonte: Elaboração própria

(1) Conforme modelo consumo x renda per capita, proposto por Dias, *et al.* (2014)

(2) Consumo máximo (fixo) de água não potável equivalente a 40% do consumo total de água

Também foram estimadas, em função dos pontos de consumo, as demandas variáveis de água não potável, as quais estão descritas nas Tabelas 6.13 e 6.14, para as edificações unifamiliares (casas) e multifamiliares (edifícios de apartamentos), respectivamente, também para uma média de 3 pessoas por domicílio.

Tabela 6.13 – Demandas médias de água não potável em edificações unifamiliares

| Projetos-Padrão e áreas de cobertura (m ²) | Consumo <i>per capita</i> de água não potável em função das classes socioeconômicas ⁽¹⁾ (litros / dia) | | | Demandas de água não potável ⁽²⁾ (litros / dia) | | | | | |
|--|--|-------|-------|--|--------------------------------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|-------|
| | AB | C | DE | Lavagem de piso (a) | Irrigação de jardins (b) | Descargas sanitárias | | Total ⁽¹⁾ (a + b) | |
| | | | | | | Caixa <i>dual flush</i> (c) | Válvula (d) | | (+ c) |
| RP1-Q A _{cob} : 39,56 | - | - | 133,2 | 15 | 28 | 50 | 123 | 93 | 166 |
| R1-B A _{cob} : 58,64 | - | - | 133,2 | 17 | 41 | 50 | 123 | 108 | 181 |
| R1-N A _{cob} : 106,44 | - | 163,2 | - | 37 | 74 | 50 | 123 | 161 | 234 |
| R1-A A _{cob} : 224,82 | 210,0 | - | - | 76 | 157 | 50 | 123 | 283 | 356 |
| R1-X A _{cob} : 450,00 | 210,0 | - | - | 142 | 221 | 50 | 123 | 413 | 486 |

(1) Para 3 habitantes por domicílio, conforme Dias, *et al.* (2014), assumindo que o consumo de água não potável pode alcançar até 40% do consumo total

(2) Para 3 habitantes por domicílio, considerando-se a média dos registros de 9.115 dias.

Tabela 6.14 – Demandas não potáveis médias de água em edificações multifamiliares

| Projetos-Padrão, número de moradores, área de cobertura (A_{cob}) e número de unidades residenciais (apartamentos) por edifício | Demanda de água não potável em função das classes socioeconômicas ⁽¹⁾ (litros / dia) | | | Demandas de água não potável em função dos pontos de consumo (litros / dia) | | | | | | |
|---|---|--------|-------|---|------------------|--------------------------|----------------------|-------------|------------------------------------|--------|
| | AB | C | DE | Lavagem de pisos | | Irrigação de jardins (c) | Descarga sanitária | | Total ⁽²⁾ (a + b + c +) | |
| | | | | Áreas privativas (a) | Áreas comuns (b) | | Caixa dual flush (d) | Válvula (e) | + d | + e |
| PIS 60 habitantes A_{cob} : 198,29 m ² / 20 unid. | - | - | 2.664 | 224 | 85 | 128 | 1.003 | 2.468 | 1.440 | 2.905 |
| PP-B 48 habitantes A_{cob} : 218,09 m ² / 16 unid. | - | - | 2.131 | 194 | 90 | 140 | 802 | 1.975 | 1.226 | 2.399 |
| R8-B 96 habitantes A_{cob} : 220,34 m ² / 32 unid. | - | - | 4.262 | 388 | 184 | 98 | 1.605 | 3.950 | 2.275 | 4.620 |
| PP-N 48 habitantes A_{cob} : 348,81 m ² / 16 unid. | - | 2.611 | - | 381 | 205 | 188 | 802 | 1.975 | 1.576 | 2.749 |
| R8-N 96 habitantes A_{cob} : 348,81 m ² / 32 unid. | - | 5.222 | - | 763 | 627 | 151 | 1.605 | 3.950 | 3.146 | 5.491 |
| R8-Y 192 habitantes A_{cob} : 1400 m ² / 64 unid. | - | 10.445 | - | 1.526 | 673 | 151 | 3.210 | 7.900 | 5.560 | 10.250 |
| R16-N 192 habitantes A_{cob} : 348,81 m ² / 64 unid. | - | 10.445 | - | 1.526 | 687 | 151 | 3.210 | 7.900 | 5.574 | 10.264 |
| R8-A 48 habitantes A_{cob} : 371,06 m ² / 16 unid. | 3.360 | - | - | 879 | 455 | 151 | 802 | 1.975 | 2.287 | 3.460 |
| R8-X 96 habitantes A_{cob} : 750 m ² / 32 unid. | 6.720 | - | - | 3.515 | 691 | 151 | 1.605 | 3.950 | 5.962 | 8.307 |
| R16-A 96 habitantes A_{cob} : 371,06 m ² / 32 unid. | 6.720 | - | - | 3.515 | 505 | 151 | 1.605 | 3.950 | 5.776 | 8.121 |

(1) Para média de 3 habitantes por domicílio (IBGE, 2010), a partir do modelo proposto por Dias, *et al.* (2014), assumindo que o consumo residencial de água não potável pode alcançar até 40% do consumo total. Por exemplo, para o projeto PIS tem-se: 111 (litros/hab x dia) x 3 hab/apartamento x 20 apartamentos/edifício x 40% = 2.664 litros/dia

(2) Para 3 habitantes por domicílio (IBGE, 2010), considerando-se a média dos registros de demanda de água não potável ao longo do período de 9.115 dias.

6.5 Aspectos financeiros referentes aos dispositivos hidráulicos

Os parâmetros financeiros referentes aos três dispositivos hidráulicos – aproveitamento de água de chuva, uso de aparelhos hidráulicos economizadores e medição individualizada em edifícios – foram levantados com o objetivo de possibilitar as análises financeiras, sob a ótica do investidor privado. Salienta-se que, conforme já mencionado, os benefícios auferidos com a implantação de dispositivos que proporcionam economia de água potável não estão restritos às questões financeiras, abrangendo também importantes aspectos sociais e ambientais.

6.5.1 Aspectos financeiros referentes aos sistemas de aproveitamento de água de chuva

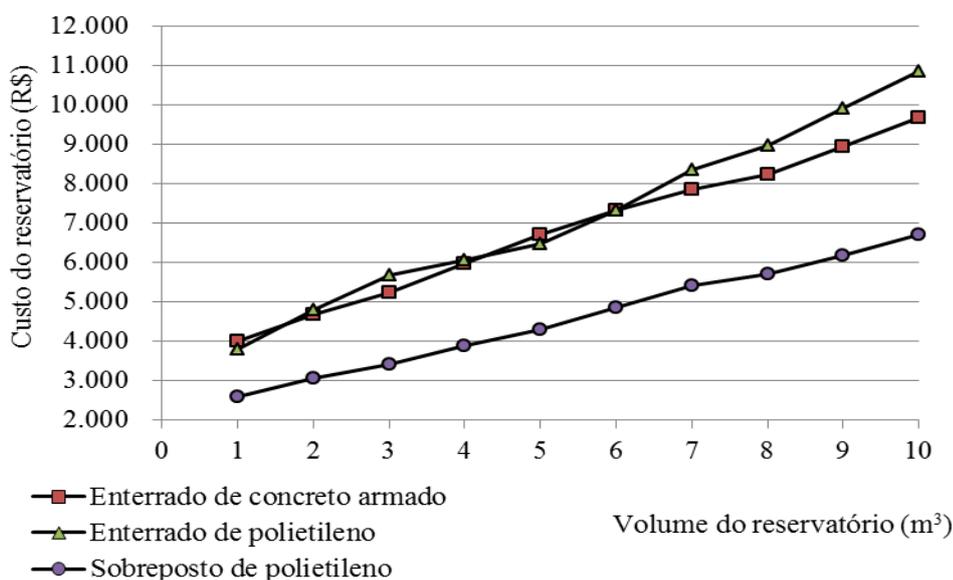
Conforme discutido no capítulo sobre materiais e métodos, foram levantados os custos de implantação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, incluindo a preparação do terreno, escavação (se for o caso), estrutura de concreto armado, instalações hidráulicas e elétricas, acessórios específicos do sistema, como dispositivo de descarte do volume inicial (first flush), dispositivos para filtração, dentre outros. Para tanto, quantificaram-se os materiais, mão-de-obra e insumos diversos, utilizando-se principalmente a base de composição de custos de serviços contidas em TCPO (2010), bem como os respectivos custos unitários, obtidos em índices de custos para a construção civil, em literatura especializada (SINAPI, 2012) e em estabelecimentos comerciais localizados na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), com referência em novembro de 2014. Os custos totais foram calculados multiplicando-se os quantitativos de serviços e materiais e os respectivos custos unitários, sendo que tais cálculos estão detalhados no Apêndice 1.

O item mais dispendioso do sistema é o reservatório inferior e seu custo total varia principalmente em função da capacidade (ou o volume) do mesmo, razão pela qual esse será o foco no presente item. Foram estudados e orçados três tipos de reservatórios: (i) Enterrado, de concreto armado; (ii) Enterrado, de polietileno; (iii) Sobreposto, de polietileno.

A Figura 6.10 apresenta o gráfico com os custos totais de implantação do sistema para as três opções de reservatório inferior – sobrepostos de polietileno, enterrado de concreto armado e enterrado de polietileno – e seus diferentes volumes. Observou-se que a opção com reservatórios sobrepostos tem custo de implantação inferior em relação ao sistema com reservatório enterrado de concreto armado ou polietileno, para todos os volumes. Os sistemas com reservatórios enterrados de concreto armado e polietileno possuem custos de implantação semelhantes até o volume de 6 m³, a partir do qual o de polietileno (enterrado) apresentam custo superior, devido aos reforços em sua estrutura pré-fabricada. As planilhas detalhadas

com os custos de cada tipo de reservatório inferior para os volumes de 1, 3, 5 e 10 m³, bem como os custos unitários de insumos estão no Apêndice 1.

Figura 6.10 – Custos de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva



Fonte: Elaboração própria, tomando-se como referência os custos de materiais e serviços na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) em novembro de 2014

Devido ao fato de serem inferiores às demais opções, os parâmetros de custo correspondentes ao reservatório sobreposto de polietileno foram utilizados nas simulações financeiras dos sistemas de coleta de água de chuva. As despesas relativas à manutenção e operação do sistema, já abordadas na metodologia, estão descritas a seguir:

- Despesas de manutenção (periodicidade anual): R\$200,00, a fim de custear a limpeza anual e eventuais substituições de acessórios do sistema;
- Despesas operacionais (periodicidade mensal), sendo calculadas para cada projeto-padrão por meio das simulações hidráulicas de uso do sistema:
 - Água suprida pela concessionária, para atendimento das demandas não potáveis na residência, considerando as deficiências do sistema;
 - Tratamento com cloro da água armazenada nos reservatórios, para desinfecção básica;
 - Energia elétrica utilizada pelo conjunto motobomba, quantificada a partir das simulações de funcionamento do sistema de aproveitamento de água de chuva, em função do volume de água não potável a ser recalcado do reservatório inferior para o superior.

6.5.2 Aspectos financeiros referentes aos aparelhos economizadores de água

Os custos dos aparelhos hidráulicos economizadores considerados na pesquisa (ver especificações técnicas no Anexo 3) estão listados na Tabela 6.15 e foram obtidos junto a estabelecimentos comerciais na RMBH, com referência em novembro de 2014 e na revisão de literatura (GUEDES, 2014; KALBUSCH, 2011 e SINAPI, 2012). Estão relacionados à aquisição e instalação dos aparelhos em residências a serem construídas ou à substituição dos mesmos em edificações existentes, visto ser de baixa complexidade, podendo ser realizada sem necessidade de reformas e intervenções de grande porte.

Tabela 6.15 – Custos de aquisição de aparelhos hidráulicos economizadores

| Aparelho | Custo de aquisição ⁽¹⁾ (R\$) |
|--|---|
| Torneira com arejador | 90,00 |
| Chuveiro com arejador | 120,00 |
| Caixa acoplada de duplo acionamento (dual-flush) | 210,00 |

(1) Valores médios de diferentes modelos de aparelhos, conforme revisão bibliográfica e cotação em estabelecimentos comerciais localizados na RMBH, com referência em novembro de 2014.

O custo com mão-de-obra para instalação dos aparelhos economizadores foi computado em R\$40,00 para torneiras e chuveiros e R\$70 para caixa acoplada de duplo acionamento. Objetivando o cálculo dos custos totais de aquisição e manutenção dos aparelhos hidráulicos economizadores, foi elaborada a Tabela 6.16, que contempla:

- O quantitativo dos aparelhos hidráulicos em cada projeto-padrão unifamiliar e multifamiliar, localizados em áreas privativas (internas da unidade residencial) e comuns (salão de festas, áreas de circulação, dentre outros). Os aparelhos localizados nas áreas comuns estão descritos entre parênteses, para os projetos R8-N, R8-Y, R16-N, R8-A, R8-X e R16-A, nas colunas contendo os quantitativos totais.
- Os custos totais de aquisição e instalação dos aparelhos hidráulicos, cujos cálculos foram realizados multiplicando-se o número total de aparelhos pelo custo unitário de aquisição dos mesmos (Tabela 6.15). Também estão descritos os custos por unidade residencial (apartamentos), calculados dividindo-se os custos totais pelo número de residências.
- Custos médios de manutenção, que consistem em eventuais reparos e substituições dos aparelhos estimados em R\$50,00 anuais por unidade residencial. Não foram computadas despesas operacionais para este dispositivo.

Tabela 6.16 – Quantitativos e custos totais de aquisição de aparelhos hidráulicos economizadores para os projetos-padrão

| Projeto-padrão e número de unidades residenciais na edificação | Número de aparelhos em cada unidade | | | Número total de aparelhos na edificação (incluindo áreas comuns, entre parênteses) ⁽¹⁾ | | | Custos totais de aquisição dos aparelhos (R\$) ⁽²⁾ | | Custo anual de manutenção ⁽⁴⁾ (R\$) |
|--|-------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|---|-----------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------------|--|
| | Torneira com arejador | Chuveiro com arejador | Caixa acoplada com duplo acionamento | Torneira com arejador | Chuveiro com arejador | Caixa acoplada com duplo acionamento | Na edificação ⁽²⁾ | Na unidade residencial ⁽³⁾ | |
| RP1-Q | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 510,00 | 510,00 | 50,00 |
| R1-B | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 510,00 | 510,00 | 50,00 |
| R1-N | 1 | 5 | 3 | 5 | 3 | 3 | 1.440,00 | 1.440,00 | 50,00 |
| R1-A | 1 | 7 | 4 | 7 | 4 | 5 | 2.160,00 | 2.160,00 | 50,00 |
| R1-X | 1 | 9 | 5 | 9 | 5 | 5 | 2.460,00 | 2.460,00 | 50,00 |
| PIS | 20 | 3 | 1 | 60 | 20 | 20 | 12.000,00 | 600,00 | 1.000,00 |
| PP-B | 16 | 3 | 1 | 48 | 16 | 16 | 9.600,00 | 600,00 | 800,00 |
| R8-B | 32 | 3 | 1 | 96 | 32 | 32 | 19.200,00 | 600,00 | 1.600,00 |
| PP-N | 16 | 5 | 3 | 80 | 48 | 48 | 23.040,00 | 1.440,00 | 800,00 |
| R8-N | 32 | 5 | 3 | 164 (4) | 96 (0) | 99 (3) | 47.070,00 | 1.470,94 | 1.600,00 |
| R8-Y | 64 | 5 | 3 | 324 (4) | 192 (0) | 195 (3) | 93.150,00 | 1.455,50 | 3.200,00 |
| R16-N | 64 | 5 | 3 | 324 (4) | 192 (0) | 195 (3) | 93.150,00 | 1.455,50 | 3.200,00 |
| R8-A | 16 | 8 | 4 | 133 (5) | 65 (1) | 83 (3) | 37.200,00 | 2.325,00 | 800,00 |
| R8-X | 32 | 8 | 4 | 261 (5) | 129 (1) | 163 (3) | 73.200,00 | 2.287,50 | 1.600,00 |
| R16-A | 32 | 8 | 4 | 261 (5) | 129 (1) | 163 (3) | 73.200,00 | 2.287,50 | 1.600,00 |

Fonte: Elaboração própria tomando-se como referência os custos de materiais e serviços na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) em novembro de 2014

- (1) Incluem também os aparelhos hidráulicos localizados em áreas comuns, cuja quantidade está descrita entre parênteses.
- (2) Calculado por meio da multiplicação da coluna com o número total de aparelhos na edificação pelos custos de aquisição de cada aparelho (Tabela 6.15).
- (3) Calculado dividindo-se o custo total na edificação pelo número de unidades residenciais na edificação.
- (4) Calculado multiplicando-se o número de unidades residenciais e o custo anual de manutenção (estimado em R\$50,00).

6.5.3 Aspectos financeiros referentes à medição individualizada de água

A implantação de sistema de medição individualizada de água em edifícios existentes, incluindo a aquisição, instalação de hidrômetros e demais equipamentos, além de outras modificações, acarretam interferências substanciais nos sistemas hidráulicos, estrutura, alvenaria e revestimento de tais edificações. Tais interferências geram resistência dos proprietários quanto à implantação, tendo em vista os custos elevados e as perturbações relacionadas às reformas. Desta forma, no presente trabalho, os custos de implantação dos sistemas de medição individualizada foram levantados somente em edifícios a serem construídos, tendo em vista os fatores descritos acima – dificuldades construtivas para a instalação do sistema em edifícios existentes – e que as despesas com as adequações nos referidos edifícios são bastante variáveis, em função das características construtivas, estado de conservação e instalações hidráulicas existentes.

A revisão de literatura (OLIVEIRA e PERES, 2009; SINAPI, 2012; GUEDES, 2014) e pesquisa nos estabelecimentos comerciais localizados na RMBH, com referência em novembro de 2014, apontaram para um custo estimativo de R\$400,00 por apartamento em edifícios a serem construídos, incluindo materiais (hidrômetros, tubulações, válvulas, registros e demais acessórios, além de outros insumos – argamassa, revestimentos, dentre outros) e mão-de-obra (instalador hidráulico, pedreiro, ajudante, dentre outros).

A Tabela 6.17 apresenta os custos totais referentes à aquisição dos dispositivos e instalação do sistema de medição individualizada em cada projeto-padrão multifamiliar, em edifícios novos, ou seja, a serem construídos. Os custos descritos na referida tabela contemplam exclusivamente o sistema de medição individualizada, não estando inclusas as despesas com as demais instalações hidráulicas prediais do edifício.

Computou-se estimativamente o valor mensal de R\$50,00 como despesa operacional para a realização, pelos próprios síndicos e moradores dos edifícios, da leitura dos medidores individualizados, bem como do cálculo do valor proporcional da fatura a ser paga por cada unidade domiciliar (apartamento). Os custos de manutenção, que consistem em eventuais reparos e substituições dos acessórios, foram estimados em R\$30,00 anuais por unidade residencial, conforme cotações realizadas em publicações de custos da construção civil (SINAPI, 2012). Tais parâmetros foram utilizados nos cálculos de análise financeira do sistema e determinação dos parâmetros *payback* e valor presente líquido (VPL).

Tabela 6.17 – Custos de implantação de sistemas de medição individualizada por projeto-padrão em edifícios a serem construídos

| Projeto-padrão multifamiliar e número de unidades residenciais | Número de pavimentos | Custos totais no edifício (R\$) ⁽²⁾ |
|--|----------------------|--|
| PIS | 20 | 8.000,00 |
| PP-B | 16 | 6.400,00 |
| R8-B | 32 | 12.800,00 |
| PP-N | 16 | 6.400,00 |
| R8-N | 32 | 12.800,00 |
| R8-Y | 64 | 25.600,00 |
| R16-N | 64 | 25.600,00 |
| R8-A | 16 | 6.400,00 |
| R8-X | 32 | 12.800,00 |
| R16-A | 32 | 12.800,00 |

(1) Os custos totais foram obtidos multiplicando-se o custo unitário médio de instalação do sistema pelo número de unidades residenciais (apartamentos) no edifício, com referência em novembro de 2014.

6.6 Simulações hidráulicas de sistemas de aproveitamento de água de chuva

Conforme mencionado no capítulo de metodologia, utilizou-se o programa Netuno (GHISI e CORDOVA, 2014) para o desenvolvimento das simulações hidráulicas referentes aos sistemas de aproveitamento de água de chuva em cada um dos projetos-padrão residenciais estudados, para a série histórica de precipitações adotada. Foram estabelecidos dois critérios para determinação de demandas de água não potável a serem atendidas por água de chuva:

- Demandas estimadas por pontos de consumo para irrigação de jardins, lavagem de piso e duas opções de descarga sanitária: (i) válvula de descarga convencional e (ii) caixa acoplada dual-flush que, conforme mencionado, será considerado um aparelho hidráulico economizador. Tais demandas, conforme Tabela 6.13 (unifamiliares) e Tabela 6.14 (multifamiliares) foram calculadas para a série histórica de 25 anos de precipitações.
- Demandas estimadas por classe socioeconômica em função do consumo total de água potável na residência, a partir do qual, utilizando indicações obtidas na revisão de literatura, calcularam-se as demandas de água não potável. No caso, adotou-se um percentual máximo de 40% de uso de água não potável em relação ao total no domicílio.

Para cada projeto-padrão unifamiliar e multifamiliar foi dimensionado (determinação do volume ótimo) o reservatório inferior (RI) do sistema e foram calculados o volume consumido de água de chuva (VC) e o volume médio extravasado de água de chuva (VE). Tais variáveis são importantes na determinação do potencial de economia de água potável em decorrência do aproveitamento de água de chuva. Os resultados das simulações de aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais estão apresentados por meio dos seguintes tópicos:

- Dimensionamento do reservatório inferior (RI), para cada projeto-padrão:
 - *Critério hidráulico:* Refere-se à elaboração de curvas relacionando o potencial de economia de água potável (PEC, em %) em função do volume do reservatório inferior (RI, em m³). Foram simuladas por meio do programa computacional Netuno, conforme já explicitado. Inicialmente, para o dimensionamento do reservatório inferior, foi estabelecida a diferença de 5%/m³ entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva. Tal critério de otimização está detalhado no Apêndice 2 do presente texto e baseia-se na variação do potencial de economia de água potável a partir da qual o aumento sucessivo do volume do reservatório é interrompido.

- *Critério econômico*: Refere-se à elaboração de curvas relacionando o custo total dos sistemas – para os quais utilizaram-se os parâmetros de custo do reservatório sobreposto de polietileno, com a opção de válvula de descarga – em função do volume do reservatório inferior. Foram considerados, além dos custos de implantação, os de manutenção e operação, ao longo de um período de 20 anos. O ponto de menor custo total na curva (ou região onde há permanência de custo mínimo) corresponde ao volume ótimo, conforme descrito na Figura 4.7. Tais curvas não objetivam as análises financeiras, mas apresentam um critério de decisão quanto ao volume ótimo do reservatório inferior.
- Análises hidráulicas a partir do volume médio de água de chuva gerada pelo sistema (VC) e volume médio extravasado de água (VE), agregados em base mensal e consolidadas para cada um dos projetos-padrão.

6.6.1 Aproveitamento de água de chuva em edificações unifamiliares

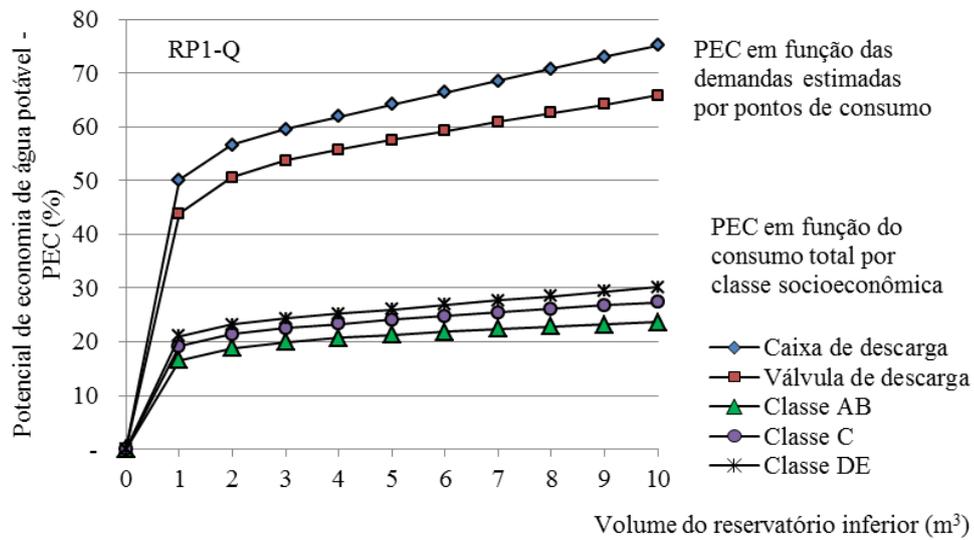
Foi estabelecida, para o dimensionamento do sistema, a diferença de 5%/m³ entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva, possibilitando a determinação dos volumes ótimos do reservatório inferior (RI), bem como os potenciais de economia de água potável, volumes consumidos e volumes extravasados.

As Figuras 6.11 a 6.13 apresentam os resultados obtidos para os projetos-padrão unifamiliares RP1-Q (A_{cob} : 39,56 m²), R1-N (A_{cob} : 106,44 m²) e R1-X (A_{cob} : 450,00 m²), escolhidos em função de suas áreas de cobertura para captação de água de chuva. Os resultados dos demais projetos-padrão – R1-B (A_{cob} : 58,64 m²) e R1-A (A_{cob} : 224,82 m²) – foram inseridos nos apêndices 4 e 5 deste trabalho, respectivamente. Nas figuras constam: (a) Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) *versus* volume do reservatório inferior (RI); (b) Gráfico do volume consumido de água de chuva *versus* volume do RI; (c) Gráfico do custo total do sistema *versus* volume do RI.

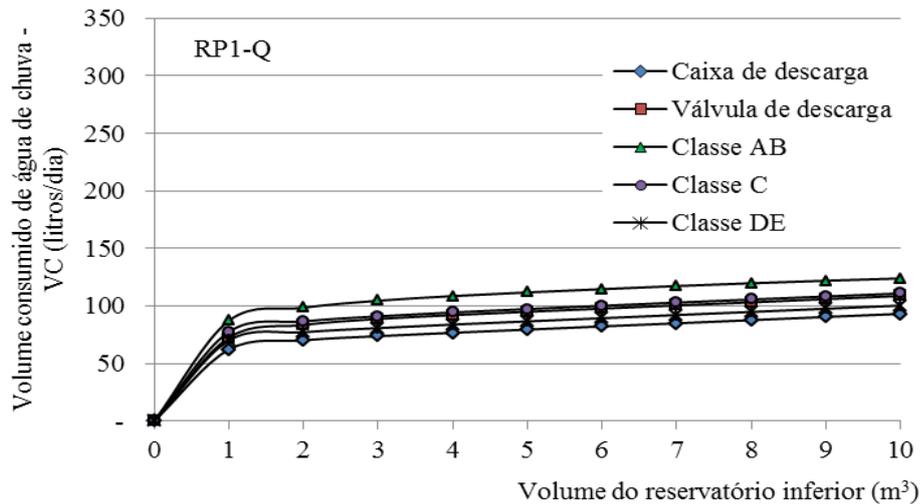
As demandas foram calculadas, como já abordado, a partir do número de moradores no domicílio, da área construída (áreas de piso a serem lavados) e área do lote (jardins a serem irrigados). As referidas variáveis também podem sofrer alterações em função do consumo estimado conforme classes socioeconômicas das famílias residentes. Verifica-se que, a partir da análise das referidas figuras, as variáveis hidráulicas RI, PEC, VC e VE são função dos aspectos relacionados: (i) à área de cobertura e demandas estimativas por pontos de consumo nos projetos-padrão e (ii) aos padrões de consumo de água por classes socioeconômicas.

Figura 6.11 – RP1-Q – Variáveis hidráulicas e de custo total do sistema de aproveitamento de água de chuva

a. Gráfico Potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior



c. Gráfico custo total do sistema x volume do reservatório

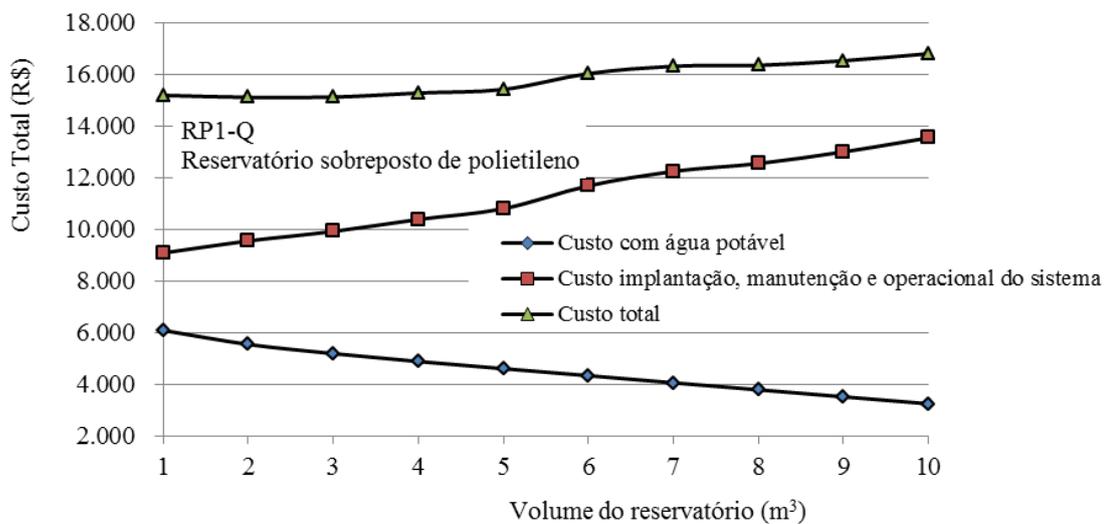
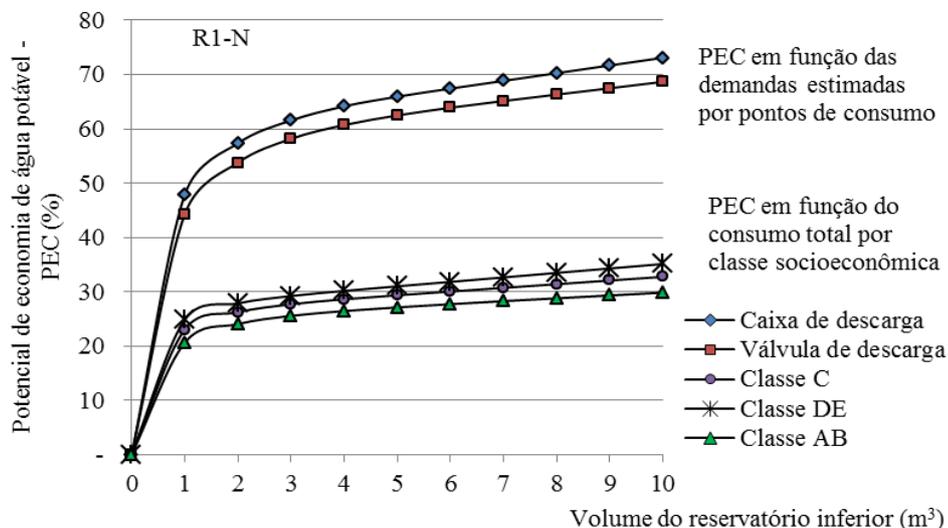
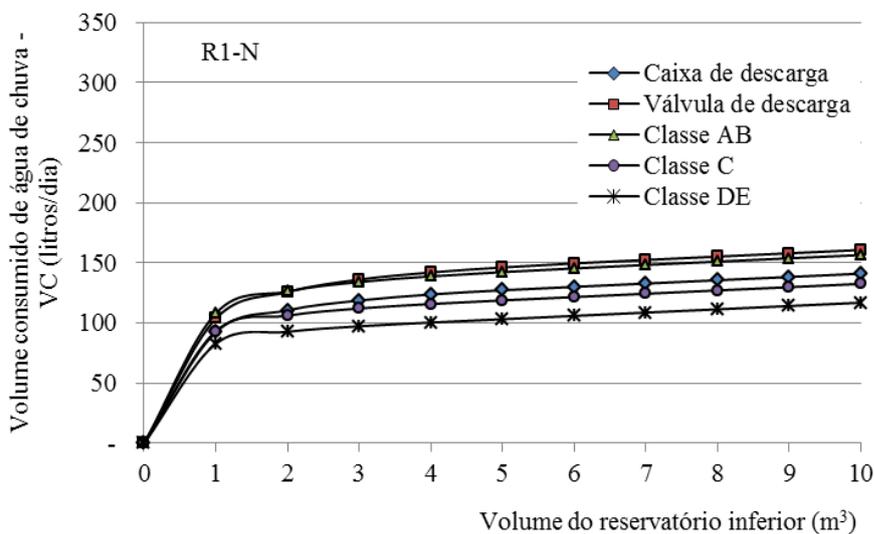


Figura 6.12 – R1-N – Variáveis hidráulicas e de custo total do sistema de aproveitamento de água de chuva

a. Gráfico Potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior



c. Gráfico custo total do sistema x volume do reservatório

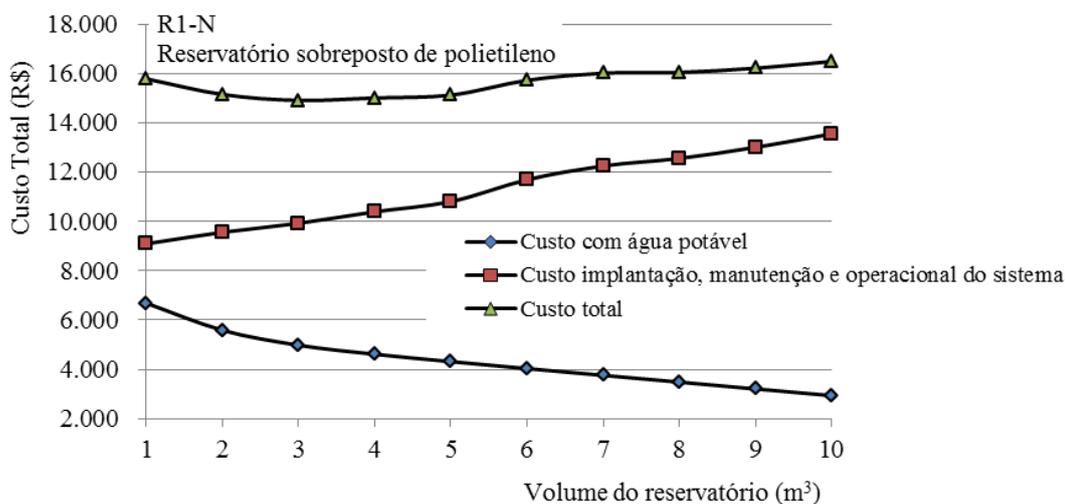
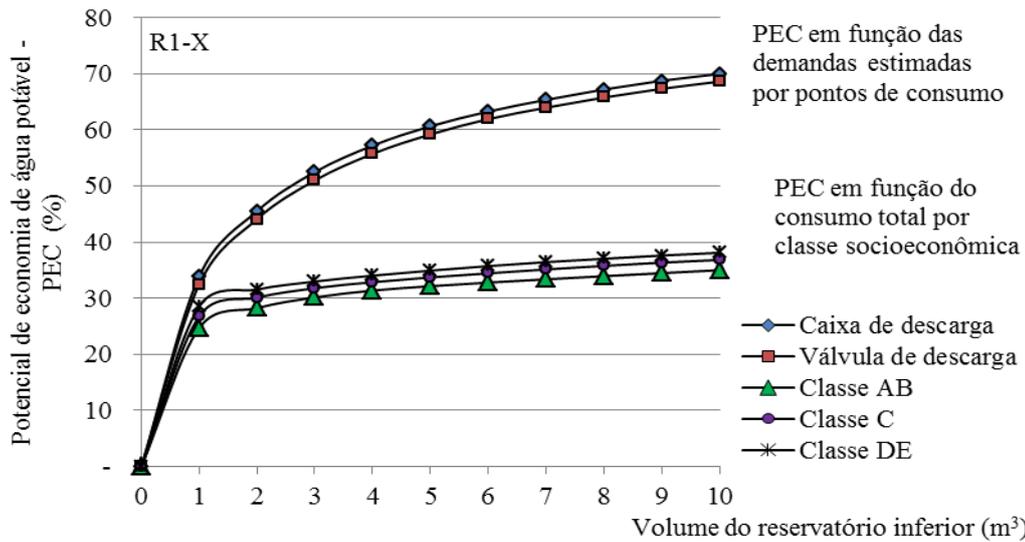
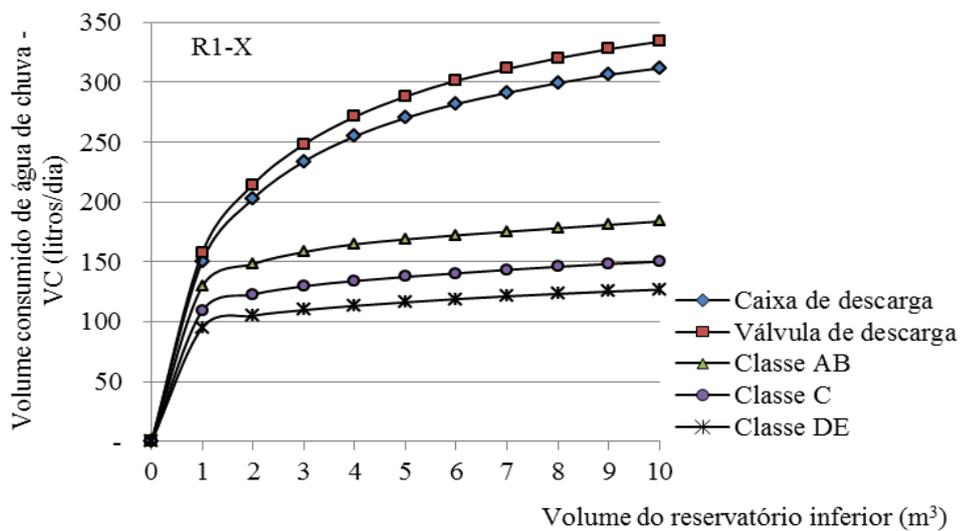


Figura 6.13 - R1-X – Variáveis hidráulicas e de custo total do sistema de aproveitamento de água de chuva

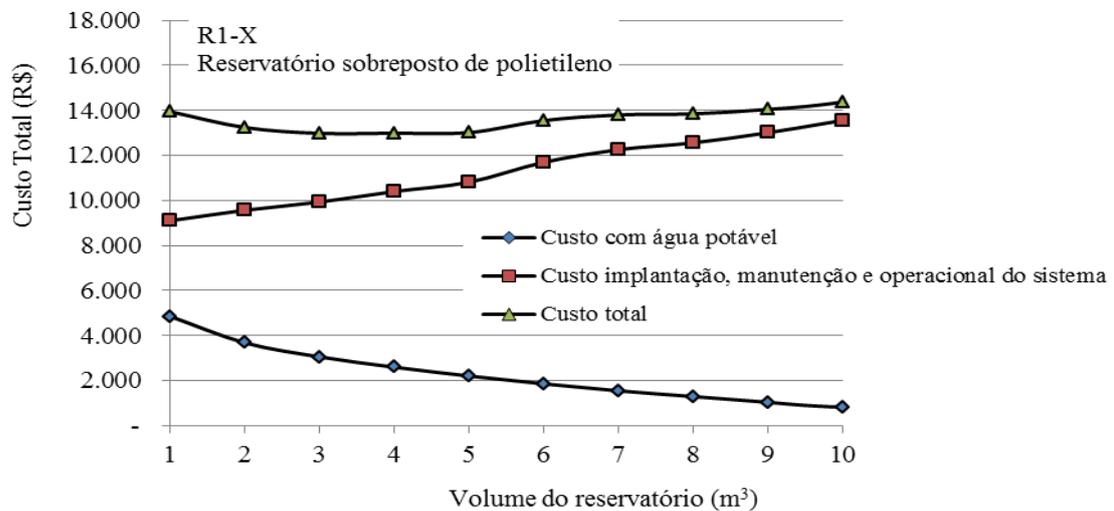
a. Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior



c. Gráfico do custo total do sistema x volume do reservatório



Além das áreas de cobertura (para captação das chuvas) dos projetos-padrão, as áreas construídas e dos lotes (ver Anexos 1 e 2) são importantes fatores na determinação das demandas de água não potável (ver Tabela 6.13), devido à lavagem de pisos e irrigação de jardins, tendo em vista a fixação do número de habitantes por domicílio. Tais aspectos interferem diretamente nas simulações de aproveitamento de água de chuva e na definição das variáveis hidráulicas – volume do reservatório inferior (RI), potencial de economia de água potável (PEC) em relação ao consumo total e volume consumido de água de chuva (VC) –, como pode ser observado nas Figuras 6.11 a 6.13. A Tabela 6.18 sintetiza os principais resultados das variáveis hidráulicas para os projetos-padrão residenciais unifamiliares, incluindo o volume extravasado de água de chuva (VE).

Tabela 6.18 – Dimensionamento do sistema para projetos-padrão unifamiliares

| Projetos-Padrão multifamiliares e variáveis hidráulicas ⁽¹⁾ | | Critério hidráulico / estimativas de demandas ⁽²⁾ | | | | | Critério econômico (dimensionamento do RI, em m ³) |
|--|-----|--|-------|-------|-----------------------|---------|--|
| | | Em função das classes socioeconômicas | | | Por pontos de consumo | | |
| | | AB | C | DE | Opção 1 | Opção 2 | |
| RP1-Q A= 39,56 m ² RI: 3 m ³ | PEC | - | - | 24,3 | 59,5 | 53,7 | Faixa de 3 a 5 m ³ |
| | VC | - | - | 80,9 | 74,4 | 89,2 | |
| | VE | - | - | 58,8 | 65,1 | 50,1 | |
| R1-B A= 58,64 m ² RI: 3 m ³ | PEC | - | - | 26,4 | 62,7 | 56,9 | Faixa de 3 a 5 m ³ |
| | VC | - | - | 87,8 | 87,8 | 102,9 | |
| | VE | - | - | 119,4 | 119,9 | 103,1 | |
| R1-N A= 106,44 m ² RI: 3 m ³ | PEC | - | 27,7 | - | 61,6 | 60,5 | Faixa de 3 a 5 m ³ |
| | VC | - | 112,2 | - | 118,8 | 141,7 | |
| | VE | - | 264,1 | - | 256,0 | 238,2 | |
| R1-A A=224,82 m ² RI: 4 m ³ | PEC | 29,5 | - | - | 59,9 | 58,2 | Faixa de 4 a 5 m ³ |
| | VC | 155,0 | - | - | 188,6 | 207,3 | |
| | VE | 646,2 | - | - | 603,2 | 583,2 | |
| R1-X A=450,00 m ² RI: 4 m ³ | PEC | 31,4 | - | - | 57,2 | 55,7 | Faixa de 4 a 5 m ³ |
| | VC | 164,8 | - | - | 254,5 | 270,9 | |
| | VE | 1431,3 | - | - | 1329,8 | 1310,5 | |

(1) Variáveis hidráulicas:

RI: volume do reservatório inferior, em m³;

PEC: potencial de economia de água potável, em %, em relação ao consumo total;

VC: volume médio consumido de água de chuva, em litros/dia;

VE: volume extravasado de água de chuva, em litros/dia.

(2) Opções de demanda por estimativa por pontos de consumo:

Opção 1: Caixa de descarga + irrigação + limpeza;

Opção 2: Válvula de descarga + irrigação + limpeza.

É necessário ressaltar que as variáveis potencial de economia de água potável (PEC), volume consumido de água de chuva (VC) e volume extravasado de água de chuva (VE) descritos na Tabela 6.18 são as médias diárias calculadas para o período de 25 anos.

Os critérios hidráulicos e financeiros indicaram resultados semelhantes para o *volume ótimo* do reservatório inferior nos projetos-padrão unifamiliares, sendo que o critério financeiro resultou em faixas de volumes com custos totais próximos entre si, conforme sintetizado na Tabela 6.18. Assim, optou-se por escolher os volumes obtidos pelo critério hidráulico, a partir dos quais calcularam-se os potenciais de economia de água potável, os volumes consumidos de água de chuva e os volumes extravasados de água de chuva. Os referidos volumes do reservatório inferior convergem com os resultados apresentados em outros trabalhos, tais como Ghisi *et al.* (2007a) e Moruzzi *et al.* (2012).

O dimensionamento dos sistemas para os projetos-padrão R1-A e R1-X, os quais possuem maiores áreas de cobertura e de lotes (ver Anexo 1) e, por isso, maiores demandas de água não potável, resultou em reservatórios inferiores (RI) com capacidade de 4 m³. Os demais projetos – RP1-Q, R1-B, e R1-N –, que possuem áreas de cobertura menores, o RI calculado foi de 3 m³.

Comparando-se as variáveis hidráulicas para os dois tipos de demandas domiciliares de água não potável (ver Tabelas 6.12 e 6.13), verificou-se que, para as demandas calculadas em função do consumo total por classe socioeconômica, o potencial de economia de água potável (PEC) foi inferior em relação à opção calculada em função das estimativas por pontos de consumo. Tal fato deve-se principalmente às dimensões da edificação e, por consequência, das demandas por água não potável, para limpeza de pisos e irrigação de áreas verdes, visto que fixou-se a média de 3 habitantes por domicílio. O referido aspecto foi observado para os projetos com áreas inferiores e padrões baixos, principalmente RP1-Q e R1-B. Para os projetos com maiores áreas de cobertura e padrões mais altos, R1-A e R1-X, observou-se que o volume consumido de água de chuva é maior para os casos onde a demanda foi estimada por pontos de consumo de água não potável.

Quanto ao volume de água de chuva gerada pelo sistema e utilizada nas residências (VC), destacam-se os pontos extremos observados nos projetos-padrão RP1-Q (menores áreas de cobertura, lote e menor VC) e R1-X (maiores áreas de cobertura, lote e maior VC). As simulações nos demais projetos-padrão resultaram volumes contidos entre os dois limites mencionados.

O PEC para a opção com caixa de descarga é superior ao da opção com válvula de descarga para RP1-Q e R1-B (diferença de 5,8%). Para R1-N, R1-A e R1-X os potenciais para ambas as opções são semelhantes (diferença de 1,0 a 1,7%), sendo que, para R1-A e R1-X as curvas de PEC estão praticamente sobrepostas. Uma possível explicação é que nos projetos-padrão R1-A e R1-X, os quais possuem maior área construída, há um considerável aumento das áreas de irrigação e de limpeza (ver Anexo 1) e as descargas sanitárias geram menor impacto no consumo total de água não potável.

Salienta-se que as variáveis potencial de economia de água potável (PEC), volume consumido de água de chuva (VC) e volume extravasado de água de chuva (VE), descritas na Tabela 6.18, são as médias diárias calculadas para o período de 25 anos, correspondente à série histórica de precipitações adotadas na pesquisa.

Visando à obtenção de tais variáveis ao longo do ano, foi elaborada a Tabela 6.19, que apresenta as médias diárias, calculadas mês a mês, do potencial de economia de água potável (em relação ao volume total de água substituível), do volume médio consumido de água de chuva e do volume médio de água de chuva extravasada, para simulação com caixas de descarga. Na referida tabela podem ser observados os efeitos da sazonalidade das chuvas em Belo Horizonte, provocando reduções nas variáveis PEC, VC e VE, sobretudo no período seco (entre maio e agosto). Tal fato acarreta a necessidade de complementação de fornecimento de água potável, pela prestadora de serviços de saneamento, para atender às demandas não potáveis de água.

Tabela 6.20 descreve as demais variáveis hidráulicas, calculados com o programa Netuno, além das que já foram comentados nesta seção (RI, PEC, VC e VE), para cada projeto-padrão unifamiliar e demandas estimadas em função das classes socioeconômicas, calculadas considerando-se 3 habitantes por domicílio, tomando-se por base os consumos *per capita* a partir do modelo proposto por Dias *et al.* (2014).

Tabela 6.19 – Variáveis hidráulicas de aproveitamento de água de chuva – valores médios diários – em edificações unifamiliares em função das estimativas por pontos de consumo, para opção com caixa de descarga

| Mês | RP1-Q | | | R1-B | | | R1-N | | | R1-A | | | R1-X | | |
|--------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|--------|------|-------|--------|
| | PEC ⁽¹⁾ | VC ⁽²⁾ | VE ⁽³⁾ | PEC | VC | VE | PEC | VC | VE | PEC | VC | VE | PEC | VC | VE |
| Janeiro | 97,8 | 122,2 | 191,4 | 96,5 | 135,1 | 322,7 | 93,3 | 180,1 | 642,6 | 90,1 | 283,7 | 1450,6 | 84,4 | 375,7 | 3052,7 |
| Fevereiro | 95,4 | 119,2 | 116,0 | 94,2 | 131,8 | 218,9 | 90,9 | 175,5 | 465,9 | 84,0 | 264,7 | 1086,8 | 80,5 | 358,1 | 2363,2 |
| Março | 96,7 | 120,9 | 80,4 | 94,7 | 132,5 | 148,0 | 91,7 | 177,0 | 319,8 | 87,6 | 276,0 | 760,6 | 84,0 | 373,8 | 1683,3 |
| Abril | 80,0 | 100,0 | 12,3 | 81,5 | 114,1 | 27,5 | 77,8 | 150,1 | 72,3 | 73,3 | 230,9 | 206,7 | 62,3 | 277,4 | 543,4 |
| Maiο | 26,4 | 33,0 | 0,0 | 36,0 | 50,5 | 0,0 | 36,0 | 69,4 | 1,1 | 35,0 | 110,3 | 18,8 | 32,0 | 142,4 | 105,2 |
| Junho | 7,0 | 8,8 | 0,0 | 9,0 | 12,7 | 0,0 | 12,2 | 23,5 | 0,0 | 15,6 | 49,2 | 4,7 | 16,6 | 73,8 | 31,3 |
| Julho | 3,5 | 4,4 | 0,0 | 5,4 | 7,5 | 0,0 | 6,7 | 12,9 | 0,0 | 9,5 | 29,8 | 0,0 | 8,8 | 39,3 | 10,6 |
| Agosto | 11,4 | 14,3 | 0,0 | 15,7 | 22,0 | 0,0 | 15,9 | 30,6 | 2,5 | 17,0 | 53,5 | 24,3 | 17,0 | 75,4 | 113,4 |
| Setembro | 37,2 | 46,5 | 0,0 | 45,0 | 63,0 | 4,0 | 49,0 | 94,5 | 43,6 | 46,9 | 147,8 | 173,6 | 46,7 | 207,6 | 503,6 |
| Outubro | 67,7 | 84,7 | 19,9 | 75,7 | 106,0 | 60,9 | 75,1 | 144,8 | 182,0 | 70,9 | 223,4 | 489,9 | 69,0 | 307,1 | 1180,6 |
| Novembro | 93,2 | 116,5 | 88,3 | 98,6 | 138,0 | 196,3 | 94,0 | 181,5 | 439,6 | 94,1 | 296,4 | 1024,6 | 92,1 | 409,6 | 2209,5 |
| Dezembro | 97,6 | 122,0 | 272,4 | 100,0 | 140,0 | 460,2 | 96,2 | 185,6 | 902,5 | 94,6 | 298,0 | 1997,2 | 93,0 | 413,9 | 4161,3 |
| Média diária | 59,5 | 74,4 | 65,1 | 62,7 | 87,8 | 119,9 | 61,6 | 118,8 | 256,0 | 59,9 | 188,6 | 603,2 | 57,2 | 254,5 | 1329,8 |

(1) PEC: potencial de economia de água potável, em %, em relação ao consumo total;

(2) VC: volume médio consumido de água de chuva, em litros/dia.

(3) VE: volume extravasado de água de chuva, em litros/dia.

Tabela 6.20 – Variáveis hidráulicas de aproveitamento de água de chuva para projetos-padrão unifamiliares em função das classes socioeconômicas

| Projeto-Padrão e Classes socioeconômicas | Consumo total familiar ⁽¹⁾ (litros/dia) | Consumo máximo de água não potável ⁽²⁾ (litros/dia) | Potencial de economia de água potável (PEC) ⁽³⁾ (%) | Volume consumido de água de chuva (VC) ⁽⁴⁾ (litros/dia) | Volume consumido de água potável ⁽⁵⁾ (litros/dia) | Volume extravasado ⁽⁶⁾ (litros/dia) | Demanda de água de chuva atendida ⁽⁶⁾ | | |
|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------|------------------|
| | | | | | | | Completamente (%) | Parcialmente (%) | Não atendida (%) |
| RPQ-1 | 333 | 133 | 24,3 | 81 | 252 | 59 | 59,0 | 3,8 | 37,2 |
| DE | | | | | | | | | |
| R1-B | 333 | 133 | 26,4 | 88 | 245 | 120 | 64,7 | 2,8 | 32,5 |
| R1-N | 408 | 163 | 27,7 | 112 | 296 | 264 | 68,2 | 2,2 | 29,6 |
| C | | | | | | | | | |
| R1-A | 525 | 210 | 29,5 | 155 | 370 | 646 | 69,6 | 2,1 | 28,3 |
| AB | | | | | | | | | |
| R1-X | 525 | 210 | 31,4 | 165 | 360 | 1.431 | 74,7 | 1,4 | 23,9 |

(1) Consumo total de água, estimado para 3 habitantes por domicílio, em função das classes socioeconômicas (Dias *et al.*, 2014);

- Consumo *per capita* (Classe DE): 111 litros / hab x dia; Consumo *per capita* (Classe C): 136 litros / hab x dia; Consumo *per capita* (Classe AB): 175 litros / hab x dia;

(2) Estimativa de consumo máximo de água não potável em relação ao consumo total de água na residência (40%);

(3) e (4) Valores obtidos diretamente das simulações realizadas no programa Netuno;

(5) Diferença entre (1) e (4);

(6) Volume de água de chuva que foi gerado pelo sistema e não aproveitado na residência;

(7) Percentuais de atendimento à demanda de água de chuva ($\Sigma = 100\%$). Tais valores foram obtidos a partir das simulações realizadas (potenciais de aproveitamento de água de chuva e do dimensionamento do sistema).

O volume consumido de água potável é provido pela prestadora de serviços de saneamento, a um custo que varia de acordo com o plano tarifário correspondente e destina-se a complementar o volume de água de chuva disponível para atendimento às demandas não potáveis. Tal custo foi utilizado nas análises financeiras, como custo operacional do sistema. Destaca-se também que o volume extravasado de água de chuva não é aproveitado na residência e, por isso, é destinado ao sistema público de drenagem pluvial, sendo uma importante variável no estudo de sistemas que proporcionem redução dos picos de vazão.

Considerando o aproveitamento de água de chuva nos projetos RP1-Q e R1-B (padrão baixo), observa-se na Tabela 6.20, onde estão descritas as variáveis hidráulicas a partir de simulações em função do consumo por classes socioeconômicas, que o volume consumido de água potável está próximo ao consumo correspondente à tarifa mínima, no caso, 200 litros/dia.

O desempenho individual dos projetos-padrão, no tocante ao volume consumido de água de chuva (VC) foi descrito na Tabela 6.18. Tal variável é primordial no procedimento de extrapolação em larga escala (escala municipal) dos resultados de cada projeto, conforme sintetizado na Tabela 6.21, a qual apresenta o potencial de redução do consumo de água potável em escala municipal, para o cenário hipotético de uso generalizado do mesmo em todas as casas de Belo Horizonte. Assim, os resultados obtidos para cada projeto-padrão (média diária do volume consumido de água de chuva – VC) foram multiplicados pelo número de residências agregadas por tipo, padrão construtivo e classes socioeconômicas, descritas na Tabela 6.10.

Conforme comentado, o potencial de economia de água potável em larga escala (escala municipal) levou em consideração, além do potencial individual do projeto-padrão, o número de casas correspondente a determinado projeto-padrão, conforme análise da distribuição das edificações existentes em Belo Horizonte. Assim, como exemplo, o projeto-padrão R1-A apresenta o maior potencial em larga escala, também devido ao fato de haver um número maior deste tipo de domicílio no município.

Tabela 6.21 – Potencial de economia de água potável, em decorrência do aproveitamento de água de chuva, em edificações residenciais unifamiliares, em escala municipal, em Belo Horizonte

| Padrão construtivo, Projetos-padrão, classes socioeconômicas e Número de edificações unifamiliares existentes no município | | | Opção 1 (caixa de descarga + irrigação + limpeza) | | | Opção 2 (válvula de descarga + irrigação + limpeza) | | |
|---|-------|---------|--|--|------------------|--|--|------------------|
| | | | VC ⁽¹⁾ (litros/dia) | Economia média de água potável (m ³ /mês) | % ⁽²⁾ | VC ⁽¹⁾ (litros/dia) | Economia média de água potável (m ³ /mês) | % ⁽²⁾ |
| Casas P1P2 (Padrão baixo) / Classe DE | RP1-Q | 80.774 | 74,4 | 180.300 | 11,6 | 89,2 | 216.150 | 12,1 |
| | R1-B | 52.512 | 87,8 | 138.330 | 8,8 | 102,9 | 162.030 | 9,1 |
| Casas P3 (Padrão normal) / Classe C | R1-N | 148.947 | 118,8 | 530.850 | 34,3 | 141,7 | 633.180 | 35,6 |
| Casas P4P5 (Padrão alto) / Classe AB | R1-A | 119.738 | 188,6 | 677.490 | 43,8 | 207,3 | 744.660 | 41,9 |
| | R1-X | 2.930 | 254,5 | 22.380 | 1,5 | 270,9 | 23.820 | 1,3 |
| Total mensal (m ³): | | | | 1.549.350 | 100,0 | - | 1.779.840 | 100,0 |
| Total anual (m ³): | | | | 18.592.200 | | | 21.358.080 | |

(1) Volume consumido de água de chuva (VC) para cada projeto-padrão

(2) A diferença entre os potenciais deve-se aos volumes consumidos de água de chuva (VC), que diferem entre as opções 1 e 2.

Verificou-se que, para a opção 1 de demanda (caixa de descarga com duplo acionamento + irrigação + lavagem de pisos), 20,4% do potencial de economia de água concentrou-se nas residências de padrão baixo, 34,3% nas de padrão normal e 45,3% nas de padrão alto, percentuais semelhantes para a opção 2 de demanda (válvula de descarga + irrigação + lavagem de pisos). As diferenças entre os referidos percentuais para os projetos-padrão deve-se aos diferentes volumes consumidos de água de chuva (VC). Destaca-se que o volume consumido de água de chuva (VC) para residências de padrão alto é superior aos demais padrões – normal e baixo –, devido às áreas construídas e dos lotes.

Os projetos RP1-Q, R1-B e R1-N referem-se a edificações com pequenas áreas de telhado, reduzindo a oferta de água de chuva em relação à demanda de água não potável estimada pelos pontos de consumo. Em outras palavras, a demanda não é suprida porque a “bacia”, isto é, o telhado, não fornece água suficiente. Assim, com o intuito de avaliar a influência da área de telhado no desempenho do sistema, realizaram-se simulações adicionais, descritas no Capítulo 7 – Discussões –, onde foi mantida constante a demanda, aumentando-se gradativamente a área do telhado, obtendo-se outros parâmetros hidráulicos.

Outro aspecto importante é que, em escala municipal, do potencial total de economia de água em edificações residenciais unifamiliares, cerca de 78% está concentrado nos projetos-padrão R1-N e R1-A, ou seja, nas casas cujas áreas estão nas faixas entre 60 e 130 m² e 130 a 260 m², respectivamente. Analisando-se a extrapolação para o município, verifica-se também que as casas com área superior a 260 m² (projeto-padrão R1-X) apresentam baixo impacto em termos de economia de água potável, com cerca de 1,5% do total. Tais constatações podem ser relevantes para definição de prioridades na elaboração de políticas relacionadas à redução do consumo de água potável por meio da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva.

6.6.2 Aproveitamento de água de chuva em edificações multifamiliares

Seguindo o mesmo critério das simulações nas edificações unifamiliares quanto ao dimensionamento do sistema (determinação do volume ótimo do reservatório inferior – RI) e cálculo dos parâmetros hidráulicos por meio do programa Netuno foi estabelecida a diferença de 5%/m³ entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva. Ressalta-se que foram utilizadas as demandas variáveis ao longo do período analisado, igual à série histórica de precipitações, ou seja, 9.115 dias.

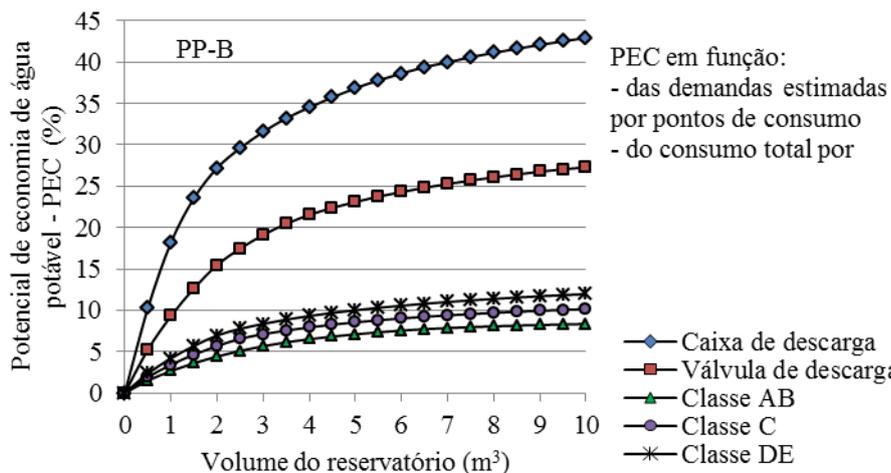
Nas Figuras 6.14 a 6.16 são apresentados os resultados obtidos para três projetos-padrão multifamiliares: PP-B (A_{cob} : 218,09 m²), R8-N (A_{cob} : 348,81 m²) e R16-A (A_{cob} : 371,06 m²), escolhidos em função de seus padrões construtivos (baixo, normal e alto, respectivamente). Foram inseridos nos apêndices 6 a 10 os resultados dos demais projetos: PIS (A_{cob} : 198,29 m²), PP-N (A_{cob} : 348,81 m²), R8-B (A_{cob} : 220,34 m²), R8-A (A_{cob} : 371,06 m²), R8-X (A_{cob} : 750,00 m²), R8-Y (A_{cob} : 1.400,00 m²) e R16-N (A_{cob} : 348,81 m²). Os resultados são compostos pelos gráficos: (a) com os potenciais de economia de água potável (PEC, em %) em função das demandas estimadas por pontos de consumo na edificação e das demandas variando de acordo com as classes socioeconômicas; (b) Os volumes consumidos de água de chuva (VC, em litros/dia); (c) Curvas do custo total *versus* volume do reservatório inferior.

A Tabela 6.22 sintetiza os resultados das simulações realizadas para os edifícios, apresentando as variáveis hidráulicas – reservatório inferior (RI, em m³), potencial médio de economia de água potável (PEC, em %), volume médio consumido de água de chuva (VC, em litros / dia) e volume médio extravasado de água de chuva (VE, em litros/dia). Tais variáveis podem sofrer alterações em função do consumo estimado conforme classes socioeconômicas das famílias. As referidas variáveis são função do número de moradores e de características relacionadas aos projetos-padrão, destacando-se a área de cobertura (telhado), área construída (pisos a serem lavados) e área do lote (jardins a serem irrigados), que norteam o cálculo das demandas estimativas de água não potável por pontos de consumo.

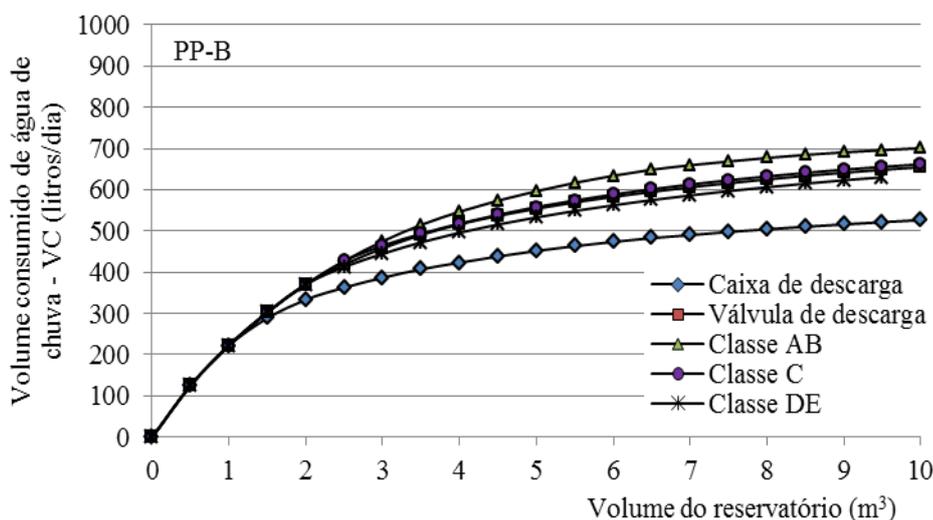
Como ocorreu nas edificações unifamiliares, os resultados obtidos por meio dos critérios hidráulicos e financeiros também indicaram resultados semelhantes para o *volume ótimo* do reservatório inferior (RI), sendo que o critério econômico resultou em faixas de volumes com custos totais próximos entre si. Da mesma forma, optou-se por escolher os volumes obtidos pelo critério hidráulico, a partir dos quais determinaram-se os potenciais de economia de água potável e os volumes consumidos de água de chuva.

Figura 6.14 – PP-B – Variáveis hidráulicas e de custo total do sistema de aproveitamento de água de chuva

a. Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior



c. Gráfico custo total do sistema x volume do reservatório

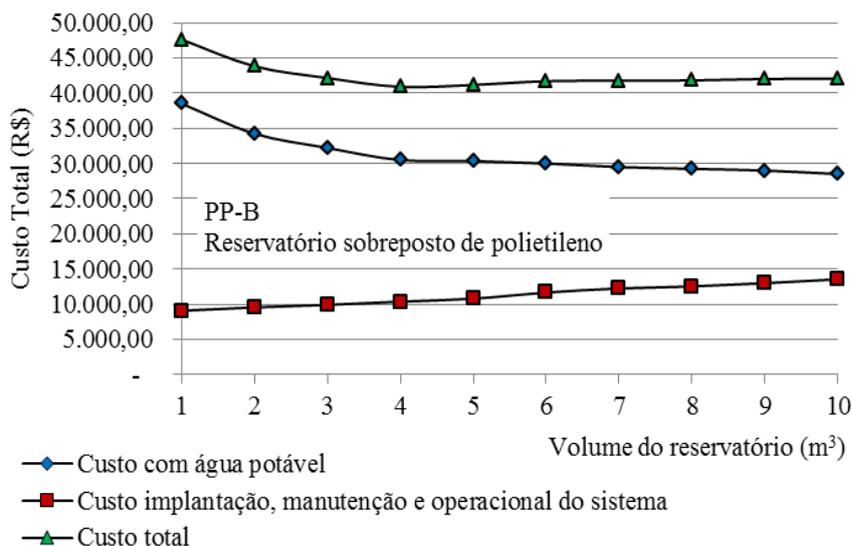
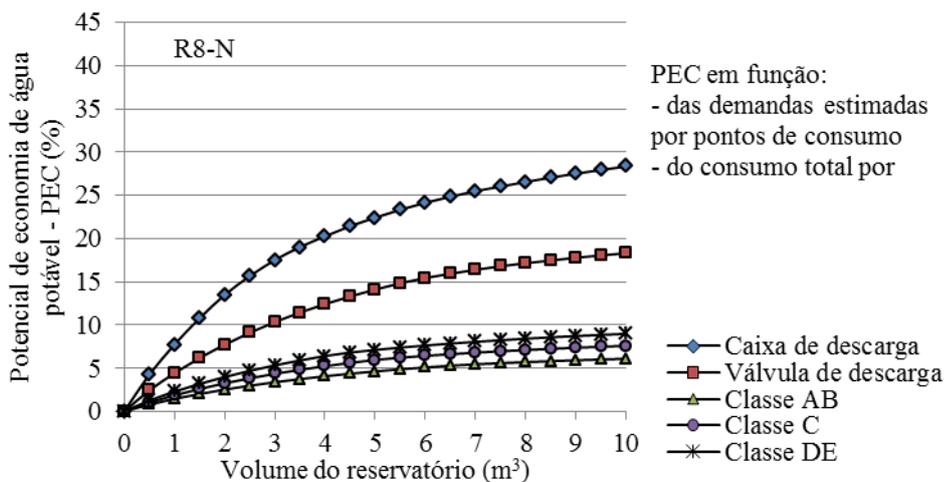
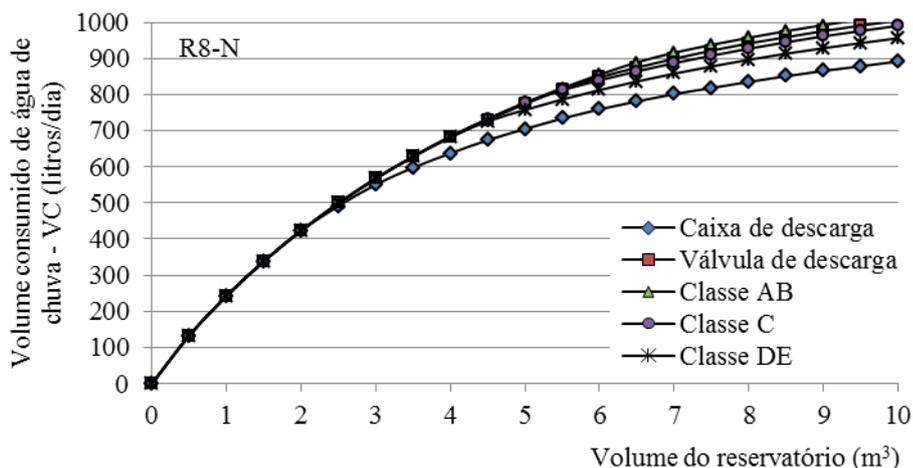


Figura 6.15 – R8-N – Variáveis hidráulicas e de custo total do sistema de aproveitamento de água de chuva

a. Gráfico custo total do sistema x volume do reservatório



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior



c. Gráfico custo total do sistema x volume do reservatório

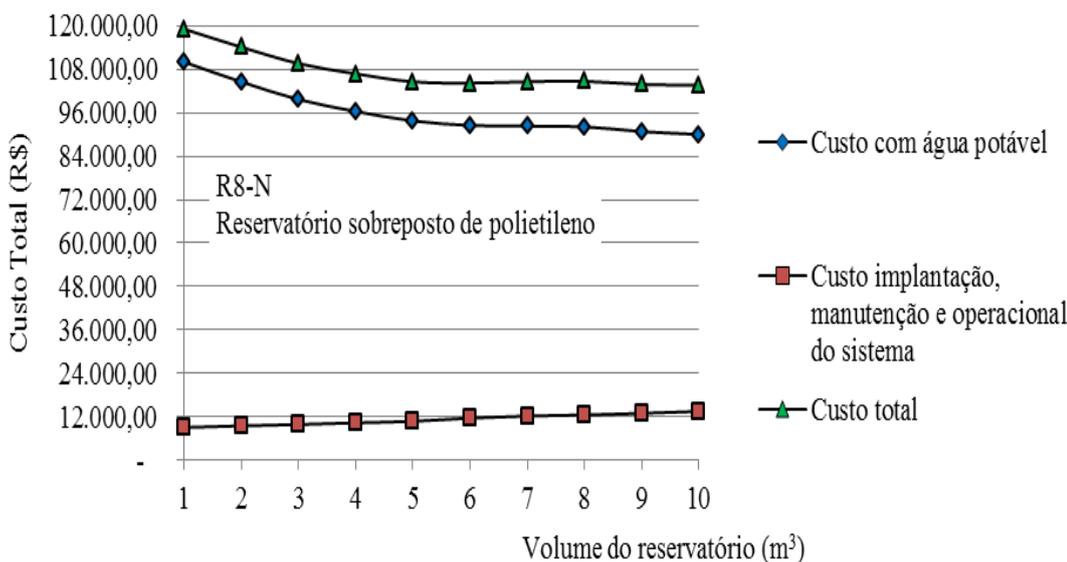
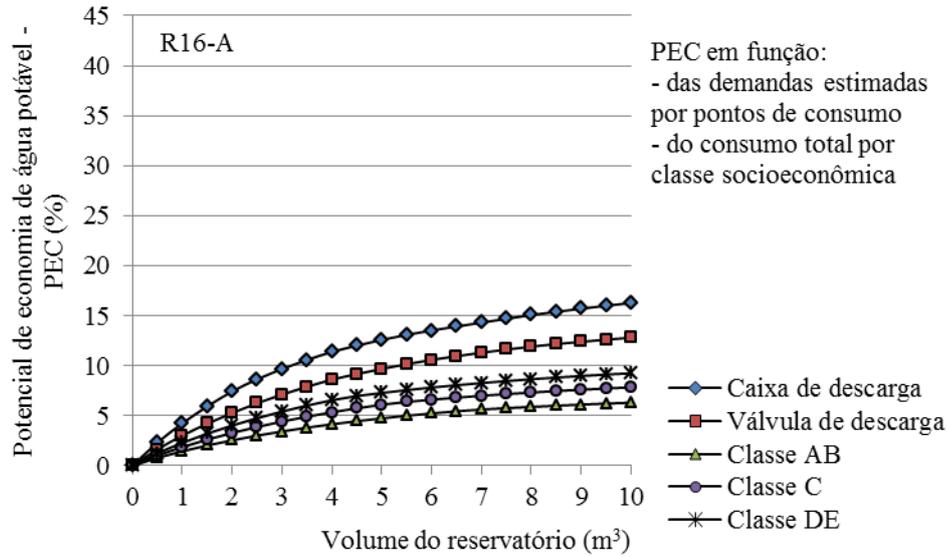
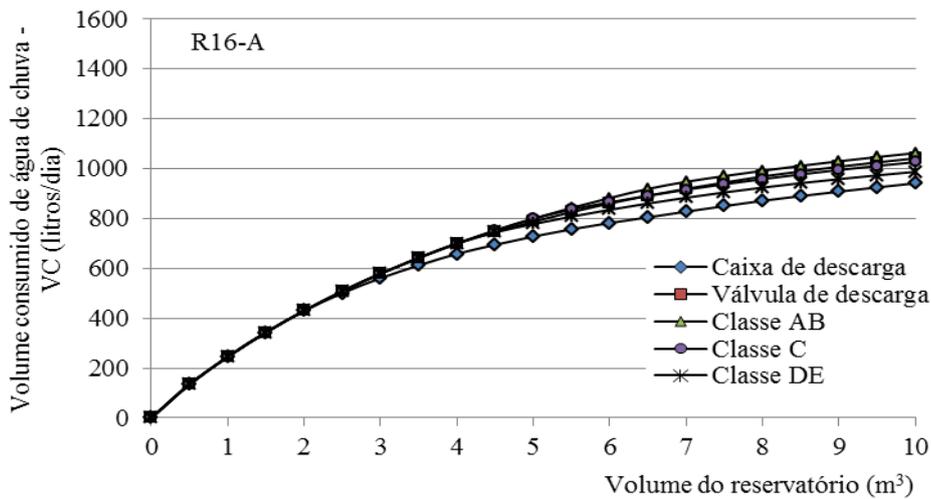


Figura 6.16 – R16-A – Variáveis hidráulicas e de custo total do sistema de aproveitamento de água de chuva

a. Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior



c. Gráfico custo total do sistema x volume do reservatório

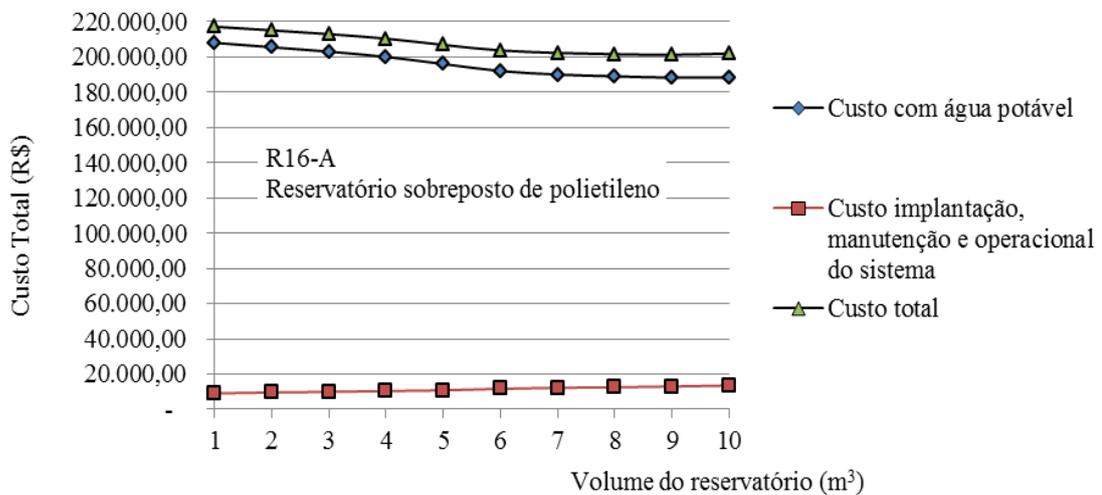


Tabela 6.22 – Variáveis hidráulicas de aproveitamento de água de chuva em projetos-padrão multifamiliares

| Projetos-Padrão multifamiliares e variáveis hidráulicas ⁽¹⁾ | Estimativas de demandas de água não potável | | | | | Critério econômico (dimensionamento do RI) | |
|--|---|--------|--------|---|---------|--|-------------------------------|
| | Classe socioeconômica | | | Estimativa por pontos de consumo ⁽²⁾ | | | |
| | AB | C | DE | Opção 1 | Opção 2 | | |
| PIS (RI: 4 m ³) | PEC | - | - | 7,7 | 30,2 | 17,6 | Faixa de 3 a 5 m ³ |
| | VC | - | - | 512 | 435 | 510 | |
| | VE | - | - | 185,8 | 262,9 | 187,8 | |
| PP-B (RI: 4 m ³) | PEC | - | - | 9,3 | 34,5 | 21,5 | Acima de 4 m ³ |
| | VC | - | - | 496 | 424 | 517 | |
| | VE | - | - | 271,2 | 343,8 | 250,8 | |
| PP-N (RI: 4 m ³) | PEC | - | 9,5 | - | 33,1 | 22,8 | Faixa de 3 a 5 m ³ |
| | VC | - | 618 | - | 522 | 628 | |
| | VE | - | 609,7 | - | 705,8 | 250,8 | |
| R8-B (RI: 6 m ³) | PEC | - | - | 6,0 | 25,5 | 14,0 | Acima de 4 m ³ |
| | VC | - | - | 637 | 579 | 649 | |
| | VE | - | - | 138,1 | 195,8 | 25,5 | |
| R8-N (RI: 6 m ³) | PEC | - | 6,4 | - | 24,1 | 15,4 | Acima de 5 m ³ |
| | VC | - | 839 | - | 759 | 848 | |
| | VE | - | 387,8 | - | 467,8 | 379,6 | |
| R8-A (RI: 6 m ³) | PEC | 9,4 | - | - | 30,0 | 22,9 | Acima de 5 m ³ |
| | VC | 792 | - | - | 684 | 792 | |
| | VE | 513,7 | - | - | 621,2 | 514,1 | |
| R16-N (RI: 8 m ³) | PEC | - | 3,7 | - | 16,6 | 9,5 | Acima de 7 m ³ |
| | VC | - | 974 | - | 928 | 974 | |
| | VE | - | 279,7 | - | 320,2 | 299,6 | |
| R16-A (RI: 8 m ³) | PEC | 5,9 | - | - | 15,1 | 11,9 | Acima de 7 m ³ |
| | VC | 991 | - | - | 871 | 969 | |
| | VE | 314,6 | - | - | 434,4 | 336,8 | |
| R8-X (RI: 8 m ³) | PEC | 8,0 | - | - | 19,2 | 16,2 | Acima de 8 m ³ |
| | VC | 1.344 | - | - | 1.145 | 1.348 | |
| | VE | 1289,2 | - | - | 1487,2 | 1284,2 | |
| R8-Y (RI: 8 m ³) | PEC | - | 6,4 | - | 26,0 | 16,2 | Acima de 8 m ³ |
| | VC | - | 1.662 | - | 1.445 | 1.663 | |
| | VE | - | 3114,8 | - | 3448,4 | 3231,5 | |

(1) Variáveis hidráulicas: RI (volume do reservatório inferior, em m³); PEC (potencial de economia de água potável, em %, em relação ao consumo total); VC (volume médio consumido de água de chuva, em litros/dia); VE (volume médio extravasado de água de chuva, em litros/dia)

(2) Opções de demanda:

- Em função do consumo correspondente às classes socioeconômica das famílias (AB, C e DE);

- Irrigação de áreas verdes + lavagem de piso + descarga em sanitários (opção 1: caixa; opção 2: válvula).

O dimensionamento dos reservatórios inferiores considerou, além das descargas sanitárias com caixa acoplada e válvula convencional, as opções de demanda de água não potável em função de: (i) consumo total domiciliar, variável em função das classes socioeconômicas, conforme modelo proposto por Dias *et al.*, (2014) (Tabela 6.12); (ii) pontos de consumo (Tabela 6.14) que, por sua vez, dependem das áreas dos lotes (irrigação de jardins) e das áreas construídas (lavagem de piso). O dimensionamento resultou em três patamares de volumes:

- Patamar 1: 4 m³, para os projetos PIS, PP-B e PP-N, os quais apresentam menores demandas de água não potável, entre 1.400 e 1.600 litros/dia, correspondente a cerca de 72 a 99 litros/dia por apartamento.
- Patamar 2: 6 m³, para os projetos R8-B, R8-N, R8-A, com demandas de água não potável entre 2.200 e 3.200 litros/dia, correspondente a cerca de 71 a 140 litros/dia por apartamento.
- Patamar 3: 8 m³, para os projetos R8-X, R8-Y, R16-N e R16-A, com demandas de água não potável entre 5.000 e 6.000 litros/dia, correspondente a cerca de 87 a 187 litros/dia por apartamento.

Comparando-se as variáveis hidráulicas para os dois tipos de demandas domiciliares de água não potável calculadas no presente trabalho (Tabelas 6.12 e 6.14) verifica-se que, para as demandas calculadas em função do consumo total por classe socioeconômica, o potencial de economia de água potável (PEC) foi consideravelmente inferior em relação à opção calculada em função das estimativas por pontos de consumo. Por outro lado, o volume consumido de água de chuva (VC) foi semelhante, comparando-se o consumo da classe socioeconômica AB e a opção com válvula de descarga.

Quanto ao volume de água de chuva ofertada pelo sistema e utilizada nos edifícios (VC), destacam-se os pontos extremos observados nos projetos-padrão PIS (menor demanda de água não potável, menor área e menor VC) e R16-N (maior demanda de água não potável, maior área e maior VC). As simulações nos demais projetos-padrão resultaram volumes contidos entre os dois limites mencionados.

O PEC para a opção com caixa de descarga é superior ao da opção com válvula de descarga para todos os projetos-padrão multifamiliares, ocorrendo o contrário com o VC, ou seja, os volumes consumidos na opção de demanda com válvula de descarga são superiores à opção com caixa de descarga.

Entre os projetos-padrão onde há o mesmo número de apartamentos e, por consequência, onde há o mesmo número de pessoas (3 moradores por domicílio), a variável “área construída” torna-se o diferencial nas simulações. Neste caso, o VC para o projeto-padrão PP-B (no qual a demanda de água não potável é de 1226 litros/dia) é cerca de 38% inferior ao do R8-A (no qual a demanda de água não potável é de 2287 litros/dia).

Salienta-se que, de forma semelhante às edificações unifamiliares, as variáveis PEC, VC e VE descritos na Tabela 6.22 são as médias diárias calculadas para o período de 25 anos e que, da mesma forma como mostrado na Tabela 6.19, são verificadas grandes reduções nas variáveis PEC e VC, sobretudo no período seco, devido à sazonalidade (características pluviométricas de Belo Horizonte), acarretando a necessidade de complementação de água potável fornecida pela concessionária para atender às demandas não potáveis de água nos edifícios.

Conforme comentado, o desempenho individual dos projetos-padrão multifamiliares, no tocante ao volume consumido de água de chuva, foi descrito na Tabela 6.22. A Tabela 6.23 apresenta o potencial de redução do consumo de água potável em escala municipal para o cenário hipotético de uso generalizado do mesmo em todos os edifícios de Belo Horizonte.

O potencial de economia de água potável em escala municipal levou em consideração, além do potencial individual do projeto-padrão, o número de edifícios correspondente a determinado projeto-padrão, conforme análise da distribuição das edificações multifamiliares existentes em Belo Horizonte. Por exemplo, os projetos-padrão PP-N e R8-A apresentam o maior potencial em larga escala, também devido ao fato de haver um número maior destes tipos de edifícios no município. Assim, os resultados obtidos para cada projeto-padrão (média diária do volume consumido de água de chuva calculado a partir das demandas por pontos de consumo para os usos não potáveis estipulados) foram multiplicados pelo número de edifícios agregados por tipologia, padrão construtivo e classes socioeconômicas (Tabela 6.10).

Tabela 6.23 – Potencial de economia de água potável, em decorrência do aproveitamento de água de chuva, em edificações residenciais multifamiliares, em escala municipal, em Belo Horizonte

| Padrão construtivo, Projetos-padrão, Classes socioeconômicas Número de edificações unifamiliares existentes no município | | Opção 1 (caixa de descarga + irrigação + limpeza) | | | Opção 2 (válvula de descarga + irrigação + limpeza) | | | |
|--|-------|--|--|------------------|--|--|------------------|-------|
| | | VC ⁽¹⁾ (litros/dia) | Economia média de água potável (m ³ /mês) | % ⁽²⁾ | VC ⁽¹⁾ (litros/dia) | Economia média de água potável (m ³ /mês) | % ⁽²⁾ | |
| Casas P1P2 (Padrão baixo) / Classe DE | PIS | 1.781 | 435 | 23.250 | 5,8 | 510 | 27.240 | 5,9 |
| | PP-B | 678 | 424 | 8.610 | 2,2 | 517 | 10.530 | 2,3 |
| | R8-B | 259 | 579 | 4.500 | 1,1 | 649 | 5.040 | 1,1 |
| Casas P3 (Padrão normal) / Classe C | PP-N | 5.932 | 522 | 92.910 | 23,2 | 628 | 111.750 | 24,2 |
| | R8-N | 1.258 | 759 | 28.650 | 7,2 | 848 | 32.010 | 6,9 |
| | R8-Y | 1.026 | 1.445 | 44.490 | 11,1 | 1.663 | 51.180 | 11,1 |
| | R16-N | 1.124 | 928 | 31.290 | 7,8 | 974 | 32.850 | 7,1 |
| Casas P4P5 (Padrão alto) Classe AB | R8-A | 4.972 | 684 | 102.030 | 25,5 | 792 | 118.140 | 25,5 |
| | R8-X | 919 | 871 | 31.560 | 7,9 | 1.348 | 37.170 | 8,0 |
| | R16-A | 1.259 | 1.145 | 32.910 | 8,2 | 969 | 36.600 | 7,9 |
| | | Total mensal (m ³): | | 400.200 | 100,0 | - | 462.510 | 100,0 |
| | | Total anual (m ³): | | 4.802.400 | | | 5.550.120 | |

(1) VC (Volume consumido de água de chuva) para cada projeto-padrão;

(2) A diferença entre os potenciais deve-se aos volumes consumidos de água de chuva (VC), que diferem entre as opções 1 e 2.

A análise da Tabela 6.23 permite algumas observações importantes referentes ao aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais multifamiliares:

- A diferença no volume mensal de água potável economizada (m^3 /ano) entre as opções de descarga sanitária é de $62.310 m^3/mês$ é equivalente a $747.720 m^3/ano$ e deve-se à maior demanda de água (não potável) entre as opções de descarga.
- Individualmente, dentre os 10 projetos-padrão de edificações multifamiliares, os que possuem maior potencial de economia de água (VC) são, conforme o padrão construtivo: R8-B, para o padrão baixo; R8-Y, para o padrão normal; R16-A, para o padrão alto. Os projetos-padrão com até 5 pavimentos – PIS, PP-B e PP-N – apresentam potenciais de economia semelhantes, com média de 460 litros/dia, sendo que este último possui potencial 20% superior aos outros dois. Excluindo-se o R8-Y, que apresenta maior potencial dentre todos os dez projetos-padrão multifamiliares, os que possuem até 8 pavimentos – R8-B, R8-N, R8-A e R8-X – possuem potenciais semelhantes, com média de 723 litros/dia. Os valores médios apresentados referem-se à opção com caixa de descarga.
- Quanto ao potencial em larga escala, considerando os resultados individuais e o número correspondente de cada projeto-padrão existente no município de Belo Horizonte, os três que apresentam maior potencial de economia de água potável são: PPN (24,2%), R8-Y (11,1%), ambos de padrão normal e R8-A (25,4%), cujo padrão é alto. Os percentuais entre parênteses referem-se à participação de cada projeto-padrão, perfazendo cerca de 60% do potencial total. Cumpre ressaltar que um dos motivos de tal constatação é o número de edifícios de cada um desses tipos existentes no município.
- Verificou-se também que o potencial de economia de água potável concentrou-se predominantemente nas classes socioeconômicas AB, com 41,4% e na C, com 49,3%, restando 9,3% para a classe DE.

Tais constatações podem ser importantes indicativos nas propostas e definições de priorização e propostas de implementação de políticas públicas relacionadas ao tema.

6.6.3 Comparações com resultados obtidos em outras pesquisas

Em escala municipal, os resultados obtidos no contexto do presente trabalho quanto ao potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares podem ser comparados com outras pesquisas. A Tabela 6.24 sintetiza os principais parâmetros obtidos na presente pesquisa e nos trabalhos desenvolvidos por Belmezeti *et al.* (2013) e Belmezeti *et al.* (2014).

Tabela 6.24 – Comparação entre diferentes estudos quanto ao potencial de economia de água potável em escala urbana por meio de aproveitamento de água de chuva

| Fonte: Presente pesquisa de doutorado do | | | | |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|--|---|
| Local: Belo Horizonte – MG (área de 330 km ² e população aproximada de 2,4 x 10 ⁶ habitantes) | | | | |
| Tipo de edificação | Área coberta total (m ²) | Número de habitantes | Volume consumido de água de chuva (VC) (m ³ /ano) | |
| Casas | 50,4 x 10 ⁶ | ≈ 1,2 x 10 ⁶ | ≈ 21,4 x 10 ⁶ | ≈ 21,9 x 10 ⁶ |
| Edifícios | 6,75 x 10 ⁶ | ≈ 1,3 x 10 ⁶ | ≈ 5,5 x 10 ⁶ | |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Consumo residencial total de água em Belo Horizonte: 120 x 10⁶ m³/ano ✓ A área coberta descrita acima destina-se às comparações com as pesquisas abaixo listadas. A pesquisa foi conduzida analisando-se as áreas de captação de cada projeto-padrão. ✓ Potencial de 22,4% de economia anual de água potável (uso generalizado do sistema em todas as edificações do município) | | | | |
| | | | | |
| Fonte: Belmezeti <i>et al.</i> (2013) | | | | |
| Local: Colombes, na região metropolitana de Paris (extensão territorial de 7,8 km ²) | | | | |
| Tipo de edificação | Área coberta (m ²) | Área de lotes (m ²) | Número de habitantes | Potencial de economia de água potável (m ³ /ano) |
| Casas | ≈ 0,8 x 10 ⁶ | ≈ 1,6 x 10 ⁶ | 85.400 | ≈ 0,34 x 10 ⁶ |
| Edifícios | ≈ 0,6 x 10 ⁶ | ≈ 0,3 x 10 ⁶ | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Representa 5,3% do consumo total de água potável (incluindo o uso em edifícios para outras atividades, além do uso residencial). ✓ Nas simulações, foi considerado o somatório das áreas de captação (“telhado único”), com suas respectivas demandas e não o telhado de cada edificação. | | | | |
| | | | | |
| Fonte: Belmezeti <i>et al.</i> (2014) | | | | |
| Local: Região metropolitana de Paris | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> ✓ Volume de água potável distribuído na região metropolitana de Paris: 738 x 10⁶ m³/ano ✓ Potencial de economia de água potável representa 11% do consumo total de água potável | | | | |

A metodologia desenvolvida nos referidos trabalhos difere da utilizada na pesquisa aqui exposta, principalmente quanto à caracterização das áreas de captação de água de chuva. Em linhas gerais, os trabalhos mencionados consideram que as residências existentes estão sob uma mesma área de cobertura, correspondente à soma das áreas de captação nos locais estudados. O presente estudo considera as áreas de captação individualmente (projetos-padrão) e as extrapolações são feitas relacionando-se tais projetos e as edificações existentes.

6.7 Aparelhos hidráulicos economizadores

Conforme abordado anteriormente, foram considerados na pesquisa os seguintes aparelhos hidráulicos economizadores: vaso sanitário com caixa acoplada de duplo acionamento (*dual flush*), chuveiro com arejadores e torneiras com arejadores em pias, lavatórios e tanque.

Diferentemente dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, os quais destinam-se, no contexto do presente trabalho, a prover água para fins não potáveis, o uso de aparelhos economizadores são aplicáveis aos usos potáveis e não potáveis. Por tal motivo, optou-se por calcular as demandas correspondentes com base nas estimativas de consumo total residencial, em função das classes socioeconômicas, a partir do modelo proposto por Dias *et al.* (2014), não tendo sido calculadas as demandas estimativas por pontos de consumo nos domicílios.

Buscou-se estabelecer um coeficiente de economia de água para o domicílio, considerando o uso de aparelhos hidráulicos economizadores, visando sua aplicação sobre os consumos de água em seus níveis convencionais obtendo-se, assim, o potencial de redução do consumo de água. Para tanto, foram levantados, a partir da revisão bibliográfica e indicações que constam no capítulo de materiais e métodos, os percentuais de consumo convencional em relação ao total residencial para os referidos aparelhos, sobre os quais aplicaram-se os percentuais de redução do consumo, conforme pode ser verificado na Tabela 6.25.

Tabela 6.25 – Redução do consumo de água com o uso de aparelhos economizadores

| Aparelhos hidráulicos (convencionais) | Percentual de consumo em relação ao total residencial (%) ⁽¹⁾ | Percentual de redução do consumo com aparelhos economizadores em relação ao aparelho convencional (%) ⁽²⁾ | Total (%) |
|---------------------------------------|--|--|-----------|
| Vaso sanitário com caixa de descarga | 21 | 55 (caixa acoplada com duplo acionamento) | 11,6 |
| Chuveiro | 29 | 40 (com arejadores) | 11,6 |
| Torneira | 10 | 50 (com arejadores) | 5,0 |
| Total | | | 28,2 |

(1) Conforme verificado na revisão bibliográfica;

(2) Ver catálogos de fabricantes de aparelhos hidráulicos economizadores – Anexo 3.

O coeficiente de 28,2% descrito na Tabela 6.25 corresponde ao potencial de economia de água em relação ao consumo convencional da residência, considerando o uso dos três aparelhos hidráulicos economizadores. Inicialmente, o referido coeficiente incidiu sobre os três patamares de consumo domiciliar de água, calculados a partir do modelo proposto por Dias *et al.* (2014), para cada classe socioeconômica (em litros / hab x dia) – AB (175), C (136) e DE (111). Entretanto, essa consideração introduziu um viés de erro no resultado, ou

seja, uma majoração do potencial de redução do consumo de água visto que, por exemplo, o número acionamentos de descargas sanitárias não depende apenas da classe socioeconômica, pois adotou-se a média de 3 habitantes por domicílio. Assim, foi proposto outro cenário de simulação do uso generalizado dos aparelhos economizadores, fixando-se o consumo *per capita* de água apenas ao patamar inferior, correspondente à classe socioeconômica DE, mantendo-o também às outras duas classes.

Calculou-se o consumo total domiciliar multiplicando-se o consumo *per capita* correspondente à classe socioeconômica DE (111 litros/ hab x dia) pelo número médio de habitantes por domicílio (3 hab / domicílio) e 30 dias por mês, obtendo-se 10 m³/mês. Incidiu-se o coeficiente redutor sobre o consumo total, obtendo-se o consumo reduzido (R). Em seguida, calculou-se o potencial de redução do consumo em escala municipal utilizando-se o número de edificações residenciais existentes no município, de acordo com a Tabela 6.10 por meio da Equação 6.1. Os resultados correspondentes estão apresentados na Tabela 6.26.

$$P = NE \times NA \times R \quad \text{(Equação 6.1), onde:}$$

P: Potencial de economia de água potável pelo uso de aparelhos economizadores em residências em escala municipal;

NA: Número de unidades residenciais por projeto-padrão (Ver Anexo 1);

NE: Número de edificações (equivalência com projetos-padrão) existentes no município;

R: Redução do consumo devido ao uso disseminado de aparelhos economizadores.

Verificou-se, na referida tabela, que as edificações com padrão construtivo normal, possuem maior potencial de economia de água por meio do uso de aparelhos economizadores, com 47,9% em relação ao potencial total, seguido dos padrões alto, com 30,8% e da baixo, com 21,3%. Tal fato deve-se, em parte, ao número de edificações existentes no município enquadradas em cada categoria construtiva, conforme mencionado anteriormente.

O potencial de economia em escala municipal, considerando o uso generalizado de aparelhos economizadores em todos os domicílios, é de cerca de 29.600.000 m³ anuais, correspondente a aproximadamente três meses do consumo domiciliar de água em Belo Horizonte, conforme dados obtidos junto à COPASA, a qual registrou, nos anos de 2012 e 2013, um consumo domiciliar médio de água de 10⁶ m³/mês.

Tabela 6.26 – Potencial de economia de água por meio do uso de aparelhos economizadores em escala municipal

| Projeto-Padrão, número de edificações existentes e número de unidades residenciais | | | | Potencial de economia (P) ⁽¹⁾ de água potável (m ³ /mês), calculado a partir do consumo convencional (C) ⁽²⁾ e do consumo reduzido (R) ⁽³⁾ | | | % | |
|--|--------------|-------------|-------|--|------------|---------|------|-------|
| | | | | AB | C | DE | | |
| RP1-Q | | 80.774 | 1 | - | - | 226.167 | 9,2 | |
| R1-B | Padrão | 52.512 | 1 | - | - | 147.034 | 6,0 | |
| PIS | P1P2 – Baixo | 1.781 | 20 | - | - | 99.736 | 4,0 | 21,3 |
| PP-B | | 678 | 16 | - | - | 30.374 | 1,2 | |
| R8-B | | 259 | 32 | - | - | 23.206 | 0,9 | |
| R1-N | | 148.947 | 1 | - | 417.052 | - | 16,9 | |
| PP-N | Padrão | 5.932 | 16 | - | 265.754 | - | 10,8 | |
| R8-N | P3 – Normal | 1.258 | 32 | - | 112.717 | - | 4,6 | 47,9 |
| R8-Y | | 1.026 | 64 | - | 183.859 | - | 7,4 | |
| R16-N | | 1.124 | 64 | - | 201.421 | - | 8,2 | |
| R1-A | | 119.738 | 1 | 335.266 | - | - | 13,6 | |
| R1-X | Edifício | 2.930 | 1 | 8.204 | - | - | 0,3 | |
| R8-A | | P4P5 – Alto | 4.972 | 16 | 222.746 | - | - | 9,0 |
| R8-X | | 919 | 32 | 82.342 | - | - | 3,3 | |
| R16-A | | 1.259 | 32 | 112.806 | - | - | 4,6 | |
| Potencial de economia (m ³ /mês): | | | | 761.364 | 1.180.803 | 526.517 | - | 100,0 |
| | | | | | 2.468.684 | | - | - |
| Potencial de economia (m ³ /ano): | | | | | 29.624.208 | | - | - |

(1) Potencial de economia de água potável em escala municipal: $P = NE \times NA \times R$ (Equação 6.1)

(2) Consumo normal (C), calculado a partir do patamar de consumo da classe DE (111 litros/hab x dia) (DIAS *et al.*, 2014): 10,0 m³/mês.

(3) Consumo reduzido (R) (m³/mês): aplicando o coeficiente de redução de 28,2% sobre o consumo (C).

6.8 Medição individualizada em edifícios de apartamentos

Buscou-se estabelecer coeficientes de redução do consumo domiciliar de água, considerando a medição individualizada de água em edifícios, visando incidi-los sobre os níveis convencionais de consumo de água, em edifícios sem medição individualizada. Para tanto, levantaram-se dados na pesquisa bibliográfica e em análises de condomínios residenciais existentes em Belo Horizonte e na região metropolitana, no ano de 2015.

Assim, foram verificados os registros de consumo de água em nove condomínios residenciais de diferentes padrões construtivos e características quanto à existência ou não de medição individualizada, os quais estão descritos na Tabela 6.27, objetivando-se estabelecer parâmetros comparativos entre os edifícios com e sem medição individualizada. Obtiveram-se um total de 3.534 registros de consumo domiciliar total mensal de água, os quais foram transformados em consumo per capita diário. Cada registro corresponde ao volume mensal medido de água consumido por um apartamento e medido nos hidrômetros. No caso dos edifícios sem medição individualizada, o número de registro corresponde às medições realizadas nos hidrômetros centrais. Foram obtidos 3.302 registros em edifícios com medição individualizada (um hidrômetro para cada apartamento) e 232 em edifícios com medição unificada (apenas um hidrômetro, para todo o edifício).

Tabela 6.27 – Descrição dos condomínios residenciais de acordo com o uso de medição individualizada

| Tipo de edifícios, nome dos condomínios residenciais, padrão construtivo e número de apartamentos em cada edifício ⁽¹⁾ | | | Área aproximada dos apartamentos (m ²) | Número de registros de consumo ⁽²⁾ | |
|---|----------------|------|--|---|------|
| Com medição individualizada | Antares | P3 | 180 | 50 | 495 |
| | Braúnas | | 240 | 50 | 180 |
| | Parque Real | P1P2 | 410 | 50 | 2000 |
| | Topázio | P4P5 | 9 | 100 e 160 (apart. de cobertura) | 495 |
| | Vancouver | | 12 | 130 e 190 (apart. de cobertura) | 132 |
| Sem medição individualizada | Alabama | | 80 | 50 | 48 |
| | Mont Aragon | P3 | 114 | 65 | 22 |
| | Gran Felicitá | | 540 | 70 | 126 |
| | Tcharles Viana | P4P5 | 9 | 100 e 160 (apart. de cobertura) | 36 |

(1) P1P2 (Padrão baixo) / P3 (Padrão normal) / P4P5 (Padrão alto)

(2) Os registros correspondem ao volume mensal de água medido nos hidrômetros centrais (para edifícios sem medição individualizada) e exclusivos de cada apartamento (para edifícios com medição individualizada). Os dados foram obtidos no ano de 2015.

Nos condomínios verificados onde há medição individualizada, a COPASA realiza a leitura de um único hidrômetro e emite apenas uma fatura. O condomínio realiza os cálculos de proporcionalidade da tarifa de água para cada apartamento. Apenas no Condomínio Parque Real a leitura mensal dos hidrômetros individualizados é realizada pela COPASA, que emite uma fatura para cada apartamento.

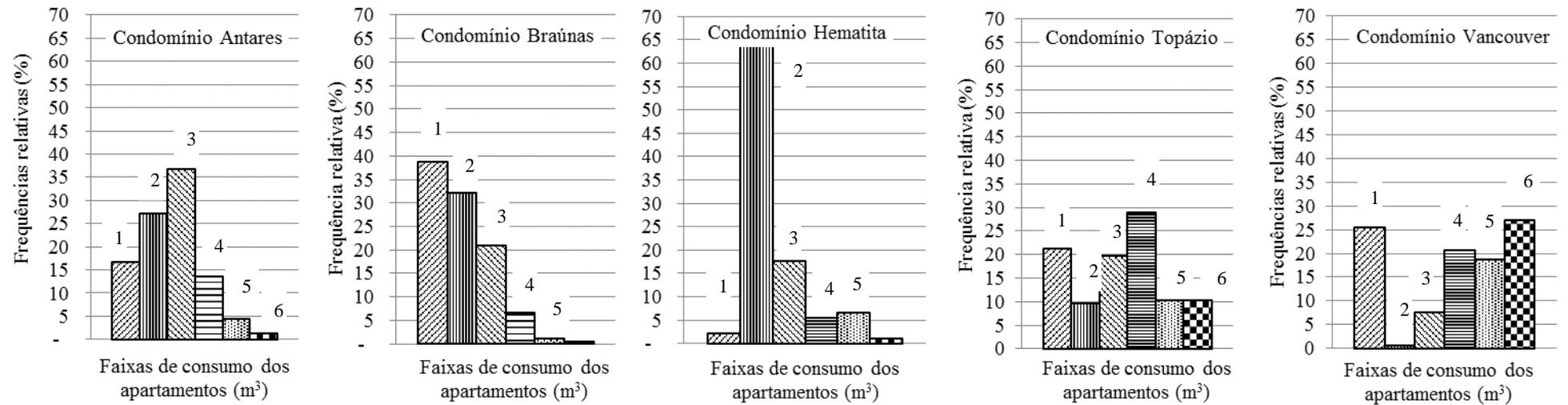
A Figura 6.17 descreve, para os condomínios residenciais analisados, os perfis de consumo de água por meio de diagramas de frequência relativa para diferentes faixas de consumo de água, as quais foram estabelecidas conforme intervalos (blocos ou faixas de consumo) semelhantes aos definidos pela Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais (ARSAE-MG) (ver Anexo 2).

Definiu-se, para os edifícios com medição individualizada, que o intervalo de consumo de 0 a 1 m³ indicaria que o apartamento estava desocupado e, por isso, não foi apresentado na referida figura. A faixa de consumo de água até 6 m³ destina-se a explicitar os domicílios cujo consumo é enquadrado na tarifa social, conforme legislação vigente (ver Anexo 2). A Tabela 6.28 apresenta as estatísticas descritivas dos dados de consumo dos edifícios analisados, destacando-se as médias e os percentuais de ocorrência conforme faixas de consumo mensal de água potável por apartamento, podendo ser feitas algumas observações:

- Dentre os edifícios de padrão alto, cujos apartamentos possuem área privativa igual ou superior a 100 m², considerando como referência o Edifício Tcharles Viana, que não possui medição individualizada, o Edifício Topázio apresentou consumo médio per capita diário 36,2% inferior e o Edifício Vancouver, 16,4% inferior, ou seja, uma média de cerca de 26,3%, sendo que ambos possuem medição individualizada;
- Dentre os edifícios de padrão normal e que não possuem medição individualizada, cujos apartamentos possuem área privativa de cerca de 50 m², considerando como referência os Edifícios Alabama e Mont Aragon, que não possuem medição individualizada:
 - Em relação ao Edifício Alabama, o Edifício Antares, que possui medição individualizada, apresentou consumo médio per capita diário 14,7% inferior e o Edifício Braúnas, 35,3% inferior, ou seja, uma média de 25%.
 - Em relação ao Edifício Mont Aragon, o Edifício Braúnas apresentou consumo médio per capita diário 14,2% inferior. O consumo per capita diário no Edifício Antares, apesar de possuir medição individualizada, é 13% superior ao do Edifício Mont Aragon.

Figura 6.17 – Frequências do consumo de água em edifícios com medição individualizada e sem medição individualizada

Condomínios (edifícios) com medição individualizada (Ver legenda: faixas de volume mensal consumido de água dos apartamentos)



Condomínios (edifícios) sem medição individualizada

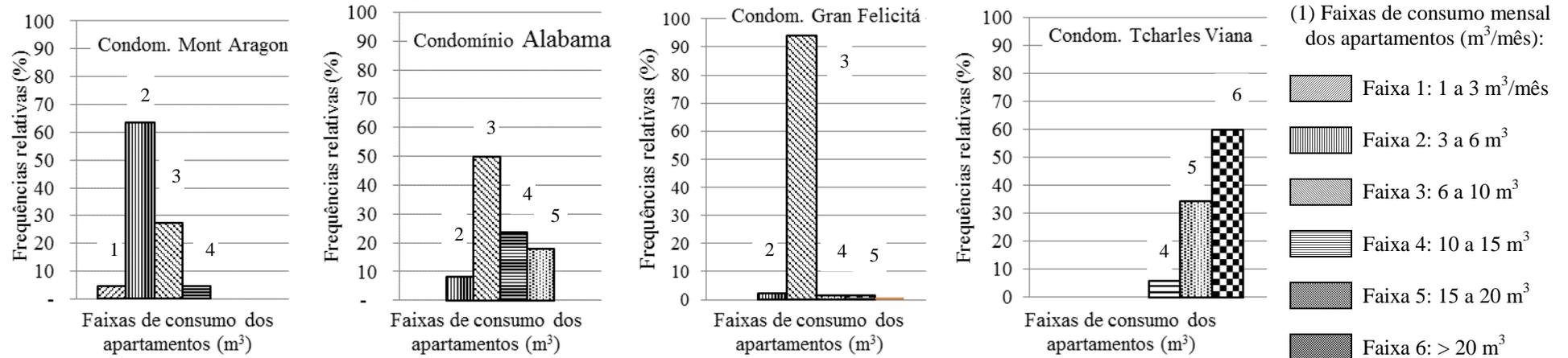


Tabela 6.28 – Estatísticas descritivas de consumo de água em edifícios residenciais

| Parâmetros | Edifícios com medição individualizada | | | | | Edifícios sem medição individualizada | | | | |
|--|---------------------------------------|---------|------------------------|-----------|---------|---------------------------------------|-------------|---------------|----------------|-----|
| | Antares | Braúnas | Parque Real / Hematita | Vancouver | Topázio | Alabama | Mont Aragon | Gran Felicitá | Tcharles Viana | |
| Número de registros ⁽¹⁾ | 495 | 180 | 2000 | 144 | 324 | 48 | 21 | 132 | 36 | |
| Referem-se aos volumes consumidos de água, em litros / hab x dia | Média | 87 | 66 | 85 | 178 | 136 | 102 | 77 | 89 | 213 |
| | Mediana | 82 | 63 | 81 | 178 | 141 | 100 | 74 | 86 | 216 |
| | Desvio padrão | 45 | 35 | 46 | 20 | 18 | 23 | 15 | 18 | 41 |
| | 1º Quartil | 60 | 38 | 70 | 168 | 123 | 88 | 70 | 81 | 179 |
| | 3º Quartil | 106 | 87 | 110 | 183 | 151 | 115 | 80 | 92 | 235 |
| | AIQ ⁽²⁾ | 45 | 49 | 60 | 16 | 28 | 28 | 10 | 11 | 56 |
| | Mínimo | 2 | 2 | 2 | 141 | 97 | 67 | 49 | 40 | 148 |
| | Máximo | 404 | 218 | 190 | 217 | 161 | 180 | 121 | 208 | 325 |
| | Amplitude | 402 | 216 | 188 | 76 | 64 | 113 | 72 | 168 | 177 |
| | Outlier superior ⁽³⁾ | 174 | 160 | 200 | 207 | 193 | 157 | 96 | 109 | 319 |
| Número de outliers superiores | 18 | 1 | 3 | 2 | 0 | 2 | 2 | 15 | 1 | |
| % de ocorrência conforme faixas de consumo mensal de água potável por apartamento ⁽⁴⁾ | 1 a 3 m ³ | 17 | 38 | 2 | 25 | 21 | 0 | 5 | 0 | 0 |
| | 3 a 6 m ³ | 27 | 32 | 67 | 1 | 10 | 8 | 64 | 2 | 0 |
| | 6 a 10 m ³ | 37 | 21 | 18 | 8 | 20 | 50 | 27 | 94 | 0 |
| | 10 a 15 m ³ | 14 | 7 | 5 | 21 | 29 | 24 | 4 | 2 | 6 |
| | 15 a 20 m ³ | 4 | 1 | 7 | 19 | 10 | 18 | 0 | 1 | 34 |
| | > 20 m ³ | 1 | 1 | 1 | 26 | 10 | 0 | 0 | 1 | 60 |
| | Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

(1) Cada registro corresponde ao volume mensal de água consumido por um apartamento;

(2) Amplitude interquartis: $AIQ = Q3 - Q1$.

(3) Conforme metodologia explicitada anteriormente, o outlier superior é maior que a expressão: $Q3 + 1,5 \times AIQ$.

(4) Percentuais referentes aos apartamentos habitados. Os apartamentos cujos consumos estão compreendidos entre 0 e 1 m³ foram excluídos das análises, pois foram considerados desocupados. Destaca-se a faixa de consumo até 6 m³, que corresponde à tarifa social.

- Quanto aos edifícios similares entre si no tocante à área privativa do apartamento, os que possuem medição individualizada (Antares, Braúnas e Parque Real) apresentam consumo *per capita* diário médio de 79,3 litros/hab x dia, enquanto os que não possuem tal dispositivo (Alabama, Mont Aragon e Gran Felicitá) apresentam consumo *per capita* diário médio de 89,3 litros / hab x dia, sendo 12,6% maior que os edifícios com medição individualizada.
- Destacam-se alguns aspectos quanto à frequência de ocorrência dos consumos de água:
 - Entre os edifícios com medição individualizada, a faixa de consumo de 3 a 6 m³/mês, que concentra cerca de 30% das ocorrências para os Edifícios Antares e Braúnas e 67% para o Condomínio Parque Real Hematita. Para os condomínios sem medição individualizada, a maior concentração de ocorrências de consumo mensal de água encontra-se na faixa de 6 a 10 m³, com 50% para o Edifício Alabama, 27% para o Mont Aragon e 94% para o Condomínio Gran Felicitá.
 - Verificou-se que, entre os condomínios com medição individualizada, há predominância de enquadramento no patamar correspondente à tarifa social (consumo inferior a 6 m³), sendo que o Edifício Antares apresentou 44% de ocorrência, o Edifício Braúnas, 70% e Parque Real Hematita, 69%. Em contrapartida, entre os condomínios sem medição individualizada, os percentuais encontrados foram de 8% para o Edifício Alabama, 69% para o Edifício Mont Aragon e 2% para o Edifício Gran Felicitá. Salienta-se que os referidos condomínios são os que possuem apartamentos com áreas privativas de cerca de 50 m² cada.

A partir da revisão de literatura (OLIVEIRA e PERES, 2009; YAMADA *et al.*, 2001; SOUZA FILHO *et al.*, 2006; SILVA e COHIM, 2007) realizada e dos resultados obtidos a partir da análise do consumo de água dos edifícios existentes, optou-se pela adoção de coeficiente de redução do consumo de água na ordem de 25% nos edifícios residenciais. As simulações de redução do consumo domiciliar de água em edifícios baseou-se nesse coeficiente.

Adotou-se procedimento semelhante ao que foi utilizado na determinação do potencial de redução do consumo de água por meio do uso de aparelhos economizadores, ou seja, multiplicou-se o coeficiente de redução do consumo de água sobre os diferentes padrões de consumo domiciliar de água (consumo convencional – C). Assim, foram calculados os consumos correspondentes com base nas estimativas de consumo total residencial, em função das três classes socioeconômicas consideradas na pesquisa, a partir do modelo proposto por Dias *et al.* (2014).

Desta forma, a Tabela 6.29 foi elaborada com o intuito de descrever o potencial de redução do consumo de água a partir do uso de medição individualizada nos projetos-padrão multifamiliares (edifícios), calculada para a média de 3 habitantes por domicílio e 30 dias por mês. Os patamares de consumo descritos na tabela referem-se às unidades domiciliares em cada um dos projetos-padrão, conforme sua classificação construtiva.

É importante salientar que os resultados descritos na Tabela 6.29 não referem-se ao consumo final da edificação, considerando a implantação de medição individualizada, mas ao potencial de redução do consumo de água em relação aos patamares convencionais.

Tabela 6.29 – Redução do consumo de água em edifícios que possuem medição individualizada

| Projeto-Padrão Padrão construtivo | | Consumo de água por apartamento (m ³ /mês) | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|---|-------|------|---------------------------------------|-----|-----|
| | | Consumo convencional (C) ⁽¹⁾ | | | Redução do consumo (R) ⁽²⁾ | | |
| | | AB | C | DE | AB | C | DE |
| PIS | Padrão baixo | - | - | 10,0 | - | - | 2,5 |
| PP-B | | - | - | 10,0 | - | - | 2,5 |
| R8-B | | - | - | 10,0 | - | - | 2,5 |
| PP-N | Padrão normal | - | 12,24 | - | - | 3,1 | - |
| R8-N | | - | 12,24 | - | - | 3,1 | - |
| R8-Y | | - | 12,24 | - | - | 3,1 | - |
| R16-N | | - | 12,24 | - | - | 3,1 | - |
| R8-A | Padrão alto | 15,75 | - | - | 3,9 | - | - |
| R8-X | | 15,75 | - | - | 3,9 | - | - |
| R16-A | | 15,75 | - | - | 3,9 | - | - |

(1) Consumo normal (C) (m³/mês), calculado conforme Dias et. al (2014):

Classe AB: $175 \times 3 \times 30 / 1000 = 15,7$; Classe C: $C = 136 \times 3 \times 30 / 1000 = 12,2$; Classe DE: $111 \times 3 \times 30 / 1000 = 10$

(2) Consumo reduzido (R) (m³/mês): refere-se à redução do consumo de água em edifícios, em decorrência do uso de medição individualizada e não ao consumo final. É calculado aplicando-se o coeficiente de redução de 25%:

Classe AB: $R = 15,75 \times 25\% = 3,9$; Classe C: $R = 12,24 \times 25\% = 3,1$; Classe DE: $R = 10,0 \times 25\% = 2,5$

A Tabela 6.30 foi elaborada multiplicando-se o número de edifícios existentes (Tabela 6.10), para cada um dos projetos-padrão multifamiliares, de acordo com as classificações construtivas, pelos respectivos consumos reduzidos (R) descritos na tabela 6.30. O potencial de redução do consumo de água em escala municipal para cada um dos projetos-padrão, em m³/mês, foi calculado utilizando-se, semelhantemente, a Equação 6.1, explicitada no item 6.7.

Tabela 6.30 – Potencial de economia de água pelo uso de medição individualizada de água em edifícios em escala municipal

| Projeto-padrão / padrão construtivo / número de edifícios existentes / número de apartamentos por edifício | | Redução do consumo de água por apartamento (m ³ /mês) ⁽¹⁾ | | | Potencial de economia de água potável (m ³ /mês) ⁽²⁾ | | | % | | | |
|--|---------------------------|--|----|-----|---|-----|---------|------------|---------|-------|-------|
| | | AB | C | DE | AB | C | DE | | | | |
| PIS | Edifício | 1.781 | 20 | - | - | 2,5 | - | - | 89.050 | 5,7 | |
| PP-B | P1P2 (Padrão baixo) | 678 | 16 | - | - | 2,5 | - | - | 27.120 | 1,7 | 8,7 |
| R8-B | | 259 | 32 | - | - | 2,5 | - | - | 20.720 | 1,3 | |
| PP-N | | 5.932 | 16 | - | 3,1 | - | - | 294.227 | - | 18,9 | |
| R8-N | Edifício P3 | 1.258 | 32 | - | 3,1 | - | - | 124.794 | - | 8,0 | 54,2 |
| R8-Y | (Padrão normal) | 1.026 | 64 | - | 3,1 | - | - | 203.558 | - | 13,0 | |
| R16-N | | 1.124 | 64 | - | 3,1 | - | - | 223.002 | - | 14,3 | |
| R8-A | Edifício | 4.972 | 16 | 3,9 | - | - | 310.253 | - | - | 19,8 | |
| R8-X | P4P5 (Padrão alto) | 919 | 32 | 3,9 | - | - | 114.691 | - | - | 7,3 | 37,1 |
| R16-A | | 1.259 | 32 | 3,9 | - | - | 157.123 | - | - | 10,0 | |
| Potencial de economia (m ³ /mês): | | | | | | | 582.067 | 845.581 | 136.890 | 100,0 | 100,0 |
| | | | | | | | | 1.564.538 | - | - | |
| Potencial de economia (m ³ /ano): | | | | | | | | 18.774.456 | - | - | |

(1) Consumo reduzido (ver Tabela 6.30), calculado conforme Dias *et al.* (2014) e aplicando-se coeficiente de redução de 25% para as três classes – AB, C e DE;

(2) Calculado pela expressão: $P = NE \times NA \times R$, onde: P: Potencial de economia de água potável por meio de medição individualizada em edifícios; NE: Número de edifícios existentes; NA: Número de apartamentos por edifício (projeto-padrão); R: Consumo reduzido de água, por classe socioeconômica.

6.9 Uso dos dispositivos economizadores em escala municipal

Visando otimizar as análises, os resultados do potencial de economia de água potável correspondentes aos três dispositivos estudados – aproveitamento de água de chuva, aparelhos hidráulicos economizadores e medição individualizada em edifícios – foram organizados para cada um dos quinze projetos-padrão residenciais. Salienta-se que os efeitos dos dispositivos não foram somados, ou seja, não foi considerado o uso simultâneo dos mesmos nos domicílios, visto que seriam necessárias avaliações mais aprofundadas quanto ao potencial de economia de água decorrente do uso combinado.

Na Tabela 6.31 estão descritos os potenciais de economia de água potável obtidos a partir do uso de cada um dos três dispositivos economizadores, em escala municipal, tendo sido considerado o uso generalizado dos mesmos em todas as edificações residenciais existentes no município, de acordo com a Tabela 6.10, conforme critérios descritos anteriormente.

No tocante aos sistemas de aproveitamento de água de chuva, utilizaram-se os volumes consumidos de água de chuva (VC) para os projetos-padrão unifamiliares (casas) e multifamiliares (edifícios) descritos nas Tabelas 6.21 e 6.23, respectivamente, para a opção de uso de caixa de descarga de duplo acionamento. Na Tabela 6.32, tais valores foram convertidos em $m^3/mês$, considerando-se 30 dias por mês.

Quanto ao uso dos aparelhos hidráulicos economizadores e medição individualizada de água em edifícios, utilizaram-se, respectivamente, os resultados descritos no item 6.7 (Tabela 6.26) e item 6.8 (Tabela 6.30).

Considerando a hipótese de uso combinado de medição individualizada e aparelhos economizadores – dispositivos que independem das condições climáticas, ou seja, podem gerar economia de água potável ao longo de todo o ano – destacam-se alguns aspectos, os quais podem ser considerados na proposição de políticas públicas referentes ao tema:

- A soma dos potenciais alcança o patamar de $48,4 \times 10^6 m^3/ano$, enquanto que, sozinho, o de aproveitamento de água de chuva alcança $23,4 \times 10^6 m^3/ano$;
- Os potenciais associados às classes socioeconômicas AB e C (padrões construtivos normal e alto) somam aproximadamente $38,3 \times 10^6 m^3/ano$, enquanto, para a classe DE, somam $7,96 \times 10^6 m^3/ano$, perfazendo, respectivamente, 82,8% e 17,2%.

Tabela 6.31 – Potencial de redução do consumo de água potável para uso dos dispositivos hidráulicos economizadores em escala municipal

| Projeto-Padrão e padrão construtivo, número de edificações existentes e número de unidades residenciais por edificação | | | | Potencial de economia de água potável (m ³ /mês) ⁽³⁾ | | | | | | | | |
|--|--------|---------------------|----|--|---------|---------|--------------------------|-----------|---------|-------------------------|---------|---------|
| | | | | Aproveitamento de água de chuva | | | Aparelhos economizadores | | | Medição individualizada | | |
| | | | | AB | C | DE | AB | C | DE | AB | C | DE |
| RP1-Q | | 80.774 | 1 | - | - | 180.300 | - | - | 226.167 | - | - | - |
| R1-B | Padrão | 52.512 | 1 | - | - | 138.330 | - | - | 147.034 | - | - | - |
| PIS | P1P2 – | 1.781 | 20 | - | - | 23.250 | - | - | 99.736 | - | - | 89.050 |
| PP-B | Baixo | 678 | 16 | - | - | 8.610 | - | - | 30.374 | - | - | 27.120 |
| R8-B | | 259 | 32 | - | - | 4.500 | - | - | 23.206 | - | - | 20.720 |
| R1-N | | 148.947 | 1 | - | 530.850 | - | - | 417.052 | - | - | - | - |
| PP-N | Padrão | 5.932 | 16 | - | 92.910 | - | - | 265.754 | - | - | 294.227 | - |
| R8-N | P3 – | 1.258 | 32 | - | 28.650 | - | - | 112.717 | - | - | 124.794 | - |
| R8-Y | Normal | 1.026 | 64 | - | 44.490 | - | - | 183.859 | - | - | 203.558 | - |
| R16-N | | 1.124 | 64 | - | 31.290 | - | - | 201.421 | - | - | 223.002 | - |
| R1-A | | 119.738 | 1 | 677.490 | - | - | 335.266 | - | - | - | - | - |
| R1-X | Padrão | 2.930 | 1 | 22.380 | - | - | 8.204 | - | - | - | - | - |
| R8-A | P4P5 – | 4.972 | 16 | 102.030 | - | - | 222.746 | - | 310.253 | - | - | - |
| R8-X | Alto | 919 | 32 | 31.560 | - | - | 82.342 | - | 114.691 | - | - | - |
| R16-A | | 1.259 | 32 | 32.910 | - | - | 112.806 | - | 157.123 | - | - | - |
| Potencial de economia de | | m ³ /mês | | 866.370 | 728.190 | 354.990 | 761.364 | 1.180.803 | 526.517 | 582.067 | 845.581 | 136.890 |
| água potável em escala | | m ³ /ano | | 23.394.600 | | | 29.624.208 | | | 18.774.456 | | |
| municipal | | | | | | | | | | | | |

6.10 Resultados financeiros

As análises financeiras (ou análises de investimento, sob a ótica privada) foram realizadas com o intuito de avaliar a atratividade correspondente ao uso dos dispositivos economizadores de água potável nos diferentes projetos-padrão estudados. Foram considerados os seguintes parâmetros de custos, para cada um dos dispositivos analisados: (i) Implantação (instalação); (ii) Operacionais, principalmente no caso dos sistemas de aproveitamento de água de chuva; (iii) Manutenção. Por meio de planilhas eletrônicas, cujos modelos constam no Apêndice 3, utilizando-se o programa Microsoft Excel, calcularam-se os parâmetros:

- *Payback* descontado (PB): tempo necessário para que os fluxos de caixa nominais de um projeto, incluindo os custos de implantação, manutenção e operacionais, atualizados a determinada taxa interna de retorno, cubram o investimento inicial.
- Valor Presente Líquido (VPL): Corresponde à soma algébrica dos valores do fluxo de caixa de um projeto e determina o valor presente de pagamentos futuros atualizados a adequadas taxas de desconto. Foi calculado com base na expressão descrita na seção 4.4.

Nas simulações financeiras, adotou-se o período de 20 anos como tempo de análise de projeto, ressaltando-se que, além dos custos operacionais lançados, foram incididos também os custos de manutenção, ambos em base mensal, correspondentes também às eventuais substituições de acessórios e componentes dos sistemas. As taxas de desconto (i), foram estabelecidas considerando-se três cenários:

- Cenário 1: $i = 0$ (sistema subsidiado, com taxa de desconto nula), a partir da ótica social de um projeto (CONTADOR, 2000; DOMENECH e SAURI, 2011);
- Cenário 2: $i = 7,5\%$ a.a., taxa de desconto equivalente à correção de caderneta de poupança, conforme dados obtidos junto ao Banco Central do Brasil²⁰;
- Cenário 3: $i = 12,0\%$ a.a., taxa de desconto estipulada pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BIRD)²¹.

Ressalta-se que as taxas de desconto descritas em base anual são apenas para correspondência com as referências bibliográficas e com as taxas indicadas por instituições financiadoras. Os

²⁰ Fonte: <http://www4.bcb.gov.br/pec/poupanca/poupanca.asp> (acesso em 26/08/2015)

²¹ Fonte: <http://www.iadb.org/en/topics/development-effectiveness/evaluation-hub/economic-analysis-overview-assumptions-and-methodologies,17882.html> (acesso em 21/05/2015)

cálculos financeiros foram desenvolvidos com a taxa de desconto em base mensal, a partir das taxas anuais.

A Tabela 6.32 apresenta os resultados financeiros para os sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares, salientando-se que, para os edifícios multifamiliares, o VPL para cada projeto-padrão refere-se ao condomínio e não às unidades privativas (apartamentos).

Tabela 6.32 – Resultados financeiros das simulações de aproveitamento de água de chuva

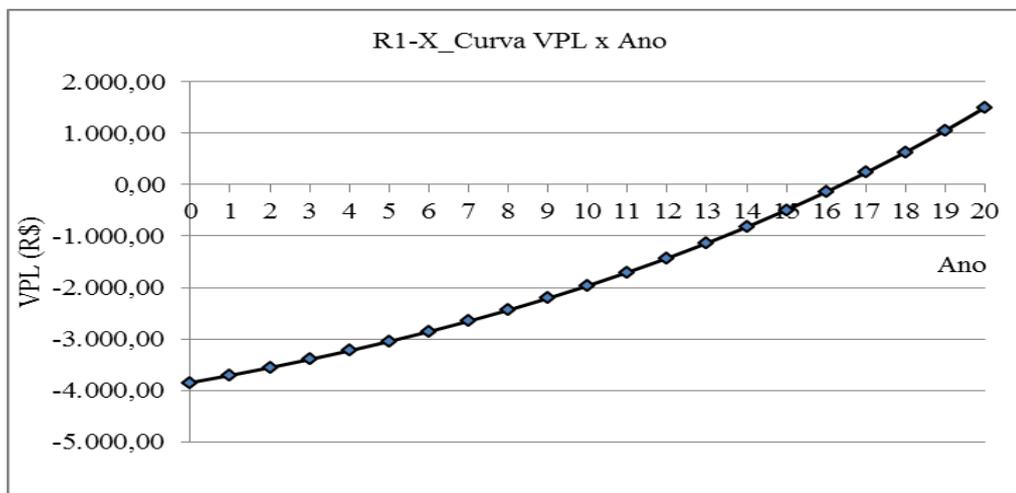
| Projetos-padrão e parâmetros financeiros ⁽¹⁾ | | Taxas de desconto adotadas ⁽²⁾ | | | |
|---|-------|---|---------------|---------------|-----------|
| | | i = 0 | i = 7,5% a.a. | i = 12,0 a.a. | |
| Edificações residenciais unifamiliares | RP1-Q | PB | Não há | Não há | Não há |
| | | VPL | -1.340,00 | -2.110,00 | -2.790,00 |
| | R1-B | PB | Não há | Não há | Não há |
| | | VPL | -970,00 | -1.880,00 | -2.490,00 |
| | R1-N | PB | 211 | Não há | Não há |
| | | VPL | 220,00 | -900,00 | -1.350,00 |
| | R1-A | PB | 195 | Não há | Não há |
| | | VPL | 390,00 | -450,00 | -850,00 |
| | R1-X | PB | 187 | Não há | Não há |
| | | VPL | 630,00 | -220,00 | -720,00 |
| Edificações residenciais multifamiliares | PIS | PB | 161 | Não há | Não há |
| | | VPL | 3.530,00 | -470,00 | -1.510,00 |
| | PP-B | PB | 155 | Não há | Não há |
| | | VPL | 3.820,00 | -340,00 | -1.410,00 |
| | PP-N | PB | 112 | 160 | 235 |
| | | VPL | 8.360,00 | 1.740,00 | 30,00 |
| | R8-B | PB | Não há | Não há | Não há |
| | | VPL | -1.960,00 | -3.620,00 | -4.030,00 |
| | R8-N | PB | 147 | 233 | Não há |
| | | VPL | 6.180,00 | 110,00 | -1.440,00 |
| | R8-A | PB | 172 | Não há | Não há |
| | | VPL | 3.890,00 | -940,00 | -2.170,00 |
| | R16-N | PB | 200 | Não há | Não há |
| | | VPL | 2.310,00 | -2.220,00 | -3.350,00 |
| | R16-A | PB | 203 | Não há | Não há |
| | | VPL | 2.100,00 | -2.310,00 | -3.420,00 |
| R8-X | PB | 77 | 99 | 120 | |
| | VPL | 23.730,00 | 7.660,00 | 3.520,00 | |
| R8-Y | PB | 55 | 66 | 76 | |
| | VPL | 36.620,00 | 13.570,00 | 7.620,00 | |

(1) Parâmetros financeiros: Payback descontado (PB) (meses) e Valor Presente Líquido (VPL) (R\$)

(2) Tempo de análise do projeto: 20 anos (240 meses)

A Figura 6.18 ilustra a evolução do valor presente líquido (VPL), correspondente à implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva para o projeto-padrão unifamiliar R1-X, o qual apresenta *payback* com 205 meses, ou seja, aproximadamente 16 anos, salientando-se que o prazo de análise financeira do projeto é de 20 anos.

Figura 6.18 – Curva do valor presente líquido (VPL) para o projeto-padrão R1-X



A inexistência de *payback* e, conseqüentemente, o Valor Presente Líquido (VPL) negativo dentro do prazo da análise, conforme descrito na Tabela 6.32, demonstrou a inviabilidade financeira quanto à implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva, sob a ótica privada, para diferentes projetos-padrão e cenários adotados. Em outras palavras, o VPL negativo significa que as receitas geradas pelo projeto – sistema de aproveitamento de água de chuva – não cobrem os custos totais no período definido para análise. No caso das casas, a exceção ocorreu para os projetos-padrão R1-N, R1-A e R1-X, apenas para a taxa de desconto nula, característica de projetos subsidiados (projetos sociais). Para os referidos projetos, destaca-se que, não obstante os VPL apresentaram-se positivos, os *payback* foram elevados, ou seja, próximos ao limite dado pelo tempo de análise do projeto, de 240 meses.

Os resultados descritos na Tabela 6.32, ressaltando-se os critérios adotados e o local de estudo, são semelhantes aos obtidos por Domenech e Sauri (2011), no tocante às edificações residenciais unifamiliares. Além disso, permitem algumas constatações referentes à implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em casas, confirmadas com diversas referências bibliográficas analisadas no presente trabalho.

A inviabilidade financeira ocorre principalmente em função das reduzidas áreas de telhado (captação de água), principalmente nos projetos-padrão RP1-Q, R1-B e R1-N, este último apresentando viabilidade apenas para taxa de desconto igual a zero. Assim, as demandas de água não potável dos projetos indicados são frequentemente atendidas com água potável pela

concessionária, aumentando os custos operacionais do sistema. Neste sentido, verifica-se o aumento do VPL à medida em que aumenta-se a área dos telhados, do RP1-A (menor) para o R1-X (maior), estando tal relação associada também às classes socioeconômicas, ou seja, o VPL aumenta (e o payback diminui) conforme o aumento da renda da família.

Tendo em vista os resultados financeiros referentes aos sistemas de aproveitamento de água de chuva, realizaram-se análises de sensibilidade dos resultados, nos próximos itens do presente capítulo, simulando-se algumas alterações, conforme descrito a seguir:

- Alterações no valor das tarifas de água cobradas pela prestadora de serviços de saneamento, a partir de eventual aumento do valor cobrado pelo uso de recursos hídricos, decorrente da outorga dos mesmos, ou seja, a cobrança pelo uso da água;
- Alterações sobre o custo de implantação do sistema, aplicando-se sobre o mesmo subsídios a fundo perdido, de modo a reduzir o desembolso inicial do investidor, no caso, o proprietário da residência onde planeja-se instalar o equipamento.

A implantação dos sistemas em edifícios residenciais multifamiliares de pequeno porte, notadamente os de baixo padrão construtivo – PIS, PP-B e R8-B –, os quais possuem menores áreas de captação, mostrou-se inviável do ponto de vista financeiro, com exceção apenas para os dois primeiros, no caso de taxa de desconto nula. Para o projeto R8-B, verificou-se inviabilidade para todos os cenários (diferentes índices financeiros). Os demais projetos-padrão (padrões construtivos normal e alto) apresentaram viabilidade financeira para taxa de desconto nula. O projeto PP-N destacou-se por apresentar viabilidade para todos os três cenários de taxas de desconto. A simulação financeira para o projeto R8-N proporcionou viabilidade para o cenário com $i = 7,5\%$ a.a..

O projetos-padrão “extras” – R8-X e R8-Y, cujas áreas de captação são 750 m^2 e 1.400 m^2 , respectivamente –, elaborados conforme critérios estabelecidos na seção 6.2.2, apresentaram-se viáveis para os três cenários de taxas de desconto, resultando nos menores *payback* dentre os projetos-padrão. Tal fato deve-se também às suas maiores áreas de captação.

A Tabela 6.33 apresenta os resultados financeiros referentes ao uso de aparelhos hidráulicos economizadores, ressaltando-se que, para os edifícios multifamiliares, o VPL para cada projeto-padrão refere-se ao condomínio e não às unidades privativas (apartamentos). Os VPL e *payback* mostraram-se satisfatórios, destacando a viabilidade para todos os projetos-padrão, nos diferentes cenários de índices financeiros.

Tabela 6.33 – Resultados financeiros referentes ao uso de aparelhos economizadores

| Projetos-padrão e parâmetros financeiros ⁽¹⁾ | | | Taxas de desconto adotadas ⁽²⁾ | | |
|---|-------|------------|---|---------------|---------------|
| | | | i = 0 | i = 7,5% a.a. | i = 12,0 a.a. |
| Edificações residenciais unifamiliares | RP1-Q | PB | 42 | 49 | 53 |
| | | VPL | 5.400,00 | 2.200,00 | 1.300,00 |
| | R1-B | PB | 35 | 39 | 42 |
| | | VPL | 6.800,00 | 2.800,00 | 1.700,00 |
| | R1-N | PB | 63 | 77 | 89 |
| | | VPL | 8.900,00 | 3.200,00 | 1.700,00 |
| | R1-A | PB | 90 | 121 | 158 |
| | | VPL | 8.000,00 | 2.300,00 | 780,00 |
| | R1-X | PB | 104 | 149 | 213 |
| | | VPL | 6.800,00 | 1.600,00 | 190,00 |
| Edificações residenciais unifamiliares | PIS | PB | 49 | 56 | 63 |
| | | VPL | 116.800,00 | 45.000,00 | 26.500,00 |
| | PP-B | PB | 49 | 57 | 64 |
| | | VPL | 92.500,00 | 36.000,00 | 20.800,00 |
| | PP-N | PB | 94 | 128 | 172 |
| | | VPL | 78.000,00 | 21.000,00 | 6.200,00 |
| | R8-B | PB | 48 | 56 | 62 |
| | | VPL | 189.100,00 | 73.000,00 | 43.000,00 |
| | R8-N | PB | 95 | 129 | 173 |
| | | VPL | 158.500,00 | 42.500,00 | 12.300,00 |
| | R8-A | PB | 83 | 109 | 138 |
| | | VPL | 156.000,00 | 47.300,00 | 19.000,00 |
| | R16-N | PB | 93 | 126 | 168 |
| | | VPL | 323.000,00 | 88.000,00 | 27.300,00 |
| | R16-A | PB | 111 | 160 | 198 |
| | | VPL | 189.000,00 | 38.000,00 | 5.100,00 |
| R8-X | PB | 106 | 151 | 220 | |
| | VPL | 203.500,00 | 45.500,00 | 4.700,00 | |
| R8-Y | PB | 93 | 127 | 169 | |
| | VPL | 322.100,00 | 87.500,00 | 27.000,00 | |

(1) Parâmetros financeiros:

- Payback descontado (PB) (meses)

- Valor Presente Líquido (VPL) (R\$)

(2) Tempo de análise do projeto: 20 anos (240 meses)

Os resultados financeiros referentes à implantação de medição individualizada em edifícios estão apresentados na Tabela 6.34. Também nesse caso, o VPL para cada projeto-padrão refere-se ao condomínio e não às unidades privativas (apartamento). Conforme ocorreu com as análises referentes aos aparelhos economizadores, o VPL e *payback* também mostraram-se satisfatórios, verificando-se viabilidade para todos os cenários de índices financeiros e projetos-padrão.

Tabela 6.34 - Resultados financeiros do uso de medição individualizada

| Projetos-padrão multifamiliares e parâmetros financeiros ⁽¹⁾ | | Taxas de desconto adotadas ⁽²⁾ | | |
|---|-----|---|---------------|---------------|
| | | i = 0 | i = 7,5% a.a. | i = 12,0 a.a. |
| PIS | PB | 19 | 20 | 21 |
| | VPL | 180.000,00 | 78.000,00 | 51.500,00 |
| PP-B | PB | 19 | 21 | 21 |
| | VPL | 133.000,00 | 58.000,00 | 38.000,00 |
| PP-N | PB | 19 | 21 | 21 |
| | VPL | 133.000,00 | 58.000,00 | 38.000,00 |
| R8-B | PB | 19 | 20 | 21 |
| | VPL | 270.000,00 | 117.000,00 | 77.000,00 |
| R8-N | PB | 19 | 20 | 21 |
| | VPL | 270.000,00 | 117.000,00 | 77.000,00 |
| R8-A | PB | 20 | 21 | 22 |
| | VPL | 131.500,00 | 57.000,00 | 37.500,00 |
| R16-N | PB | 19 | 20 | 21 |
| | VPL | 546.000,00 | 237.000,00 | 156.500,00 |
| R16-A | PB | 19 | 21 | 21 |
| | VPL | 268.000,00 | 116.000,00 | 77.000,00 |
| R8-X | PB | 19 | 20 | 21 |
| | VPL | 270.500,00 | 117.000,00 | 77.000,00 |
| R8-Y | PB | 19 | 20 | 21 |
| | VPL | 546.000,00 | 235.000,00 | 157.000,00 |

(1) Parâmetros financeiros:

- Payback descontado (PB) (meses)

- Valor Presente Líquido (VPL) (R\$)

(2) Tempo de análise do projeto: 20 anos (240 meses)

Os resultados satisfatórios correspondentes ao uso de aparelhos economizadores e medição individualizada em edifícios devem-se, em parte, aos baixos custos de implantação (instalação) e de manutenção. Entretanto, um fator importante que justifica os resultados financeiros satisfatórios para tais dispositivos é a constância dos benefícios financeiros ao longo do ano, pois independem das condições climáticas, como no caso do aproveitamento de água de chuva.

É importante analisar conjuntamente os resultados das simulações financeiras, quanto à viabilidade de implantação dos dispositivos hidráulicos que possam proporcionar economia de água potável nos projetos-padrão residenciais, com os potenciais de economia de água potável em larga escala, sendo que tal discussão está desenvolvida no Capítulo 7.

6.10.1 Análise de sensibilidade dos modelos adotados

Os testes de sensibilidade aplicados sobre os resultados financeiros, conforme mencionados no capítulo de metodologia, visaram acrescentar outros aspectos às análises já realizadas, obtendo elementos e diretrizes para a elaboração de políticas públicas referentes à economia de água potável em edificações residenciais.

Realizaram-se os referidos testes recalculando-se o período de retorno do investimento (*payback*) especificamente para a implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em residências unifamiliares (casas).

6.10.1.1 Testes de sensibilidade para os sistemas de aproveitamento de água de chuva referentes a alterações no valor pago pelo uso de recursos hídricos

A Tabela 6.35 apresenta, com base em relatório publicados pelo CBH – Velhas, as vazões anuais captadas e lançadas, bem como os valores anuais pagos pela COPASA pelo uso dos recursos hídricos na bacia do Rio das Velhas, em 2014 e 2015, para o município de Belo Horizonte. Salienta-se que os dados descritos na tabela referem-se às vazões e valores pagos pela COPASA para todos os fins e não apenas ao uso domiciliar da água.

Tabela 6.35 – Vazões e valores pagos pela COPASA referente ao uso de recursos hídricos na bacia do Rio das Velhas, para o município de Belo Horizonte

| Ano | Vazões ⁽¹⁾ (m ³ /ano) | | Valor total pago ⁽¹⁾ (R\$/ano) |
|------|---|-------------|--|
| | Captação | Lançamento | |
| 2014 | 217.498.142 | 147.651.286 | 5.706.119,00 |
| 2015 | 305.302.513 | 192.489.363 | 5.549.292,00 |

Fonte: Associação Executiva de Apoio à Gestão de Bacias Hidrográficas Peixe Vivo (AGB – Peixe Vivo)

(1) Referem-se ao volume total de água captado e lançado pela COPASA e não apenas para uso residencial

Procurou-se obter patamares de variação dos percentuais de incidência dos custos decorrentes do uso da água nas estrutura tarifária que pudessem gerar alterações nos benefícios, que consistem nos valores usados nas análises financeiras, visando ao aumento da atratividade financeira, sob a ótica do investidor privado, alcançando-se valores positivos de VPL.

Para o município de Belo Horizonte, no ano de 2015, o valor referente à cobrança pelo uso da água pago pela COPASA ao CBH – Velhas incidiu na fatura mensal com percentual de 0,65%

na tarifa de água e 0,09% na tarifa de esgoto²². Verificou-se, a partir dessa informação, que alterações substanciais nos resultados financeiros (reduções no *payback* e aumento no VPL) somente seriam possíveis mediante aplicação de elevadas variações nos percentuais descritos acima, na ordem de, no mínimo, seis vezes, ressalvando-se que não se considerou a capacidade de pagamento dos usuários ou os impactos sobre as economias domésticas e o próprio consumo de água de tais aumentos. Observou-se que, em linhas gerais:

- Os baixos valores praticados no Brasil sugerem que a cobrança pelo uso de recursos hídricos, na atualidade, não reflete de maneira completa esses custos;
- Há indicação de desenvolvimento de estudos no tocante à relação entre os recursos advindos da cobrança pelo uso da água e as tarifas praticadas pelas prestadoras de serviços de saneamento, bem como à possibilidade de aplicação de tais recursos em dispositivos que proporcionem a redução do consumo de água potável em ambientes urbanos.

6.10.1.2 Testes de sensibilidade para alterações no custo de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva, por meio de concessão de subsídios a fundo perdido

Tendo em vista os resultados financeiros para os sistemas de aproveitamento de água de chuva – inexistência ou elevados *payback* sobretudo para as casas –, foram realizadas simulações nas quais alterou-se o custo de implantação dos sistemas, objetivando a redução do *payback* e aumento da atratividade dos projetos. Conforme mencionado na metodologia do trabalho, incidiram-se diferentes níveis de subsídios – 10%, 25% e 50% – em dois cenários quanto ao número de casas abrangidas em relação ao total de casas existentes no município – 20% e 100% – na concessão do subsídio, sendo que tais percentuais foram escolhidos de modo a obter diferentes faixas de abrangência.

Inicialmente, com base no levantamento das casas existentes e sua correlação com os projetos-padrão de edificações residenciais unifamiliares (Tabela 6.10), elaborou-se a Tabela 6.36, considerando os dois cenários mencionados. Na referida tabela consta também o padrão construtivo e o volume do reservatório do sistema de aproveitamento de água de chuva.

Os cálculos do impacto nos resultados financeiros decorrentes da aplicação de subsídios sobre o custo total de implantação – aquisição e instalação do sistema – foram realizados especificamente para os projetos-padrão unifamiliares (casas). Os custos totais de implantação

²² Dado obtido junto à Chefia da Assessoria Técnica da Presidência da COPASA, por meio do Engenheiro João Bosco Senra.

dos sistemas correspondentes aos reservatórios inferiores de 3 e 4 m³ estão descritos na Tabela 6.37, incluindo também os custos de implantação para os três patamares de subsídios.

Tabela 6.36 – Cenários considerados quanto ao número de edificações residenciais unifamiliares e correlação com os projetos-padrão para a concessão de subsídios

| Padrões construtivos | Projetos-padrão e volume do reservatório inferior (RI) (m ³) | | Número de casas consideradas nos cálculos | |
|----------------------|--|-------|---|--|
| | | | Cenário 1: abrangência de 100% das casas existentes | Cenário 2: abrangência de 20% das casas existentes |
| Baixo | RP1-Q | 3 | 80.774 | 16.155 |
| | R1-B | 3 | 52.512 | 10.502 |
| Normal | R1-N | 3 | 148.947 | 29.789 |
| Alto | R1-A | 4 | 119.738 | 23.948 |
| | R1-X | 4 | 2.930 | 586 |
| | | Total | 404.901 | 80.980 |

Tabela 6.37 – Custos totais de implantação dos sistemas, para reservatórios de 3 e 4 m³

| Volume do reservatório (m ³) | Custos totais de implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva (R\$) | | | |
|--|---|--------------------------------|----------|----------|
| | Sem subsídio (custo normal) | Com subsídio (a fundo perdido) | | |
| | | 10% | 25% | 50% |
| 3 | 3.401,00 | 3.061,00 | 2.551,00 | 1.701,00 |
| 4 | 3.867,00 | 3.481,00 | 2.901,00 | 1.934,00 |

A Tabela 6.38 apresenta as análises financeiras nas quais foram recalculados os períodos de retorno do investimento (*payback*) considerando o custo de implantação subsidiado dos sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais unifamiliares. É necessário enfatizar ainda que o cálculo do *payback* independe do número de casas abrangidas pela concessão do subsídio, sendo aplicadas individualmente, a cada projeto-padrão.

Tabela 6.38 – *Payback* recalculados para os diferentes cenários de subsídios para implantação do sistema em casas

| Projetos-Padrão | <i>Payback</i> (meses) para os diferentes cenários | | | |
|-----------------|--|--------------------------------|-----|-----|
| | Sem subsídio (Tabela 6.37) | Com subsídio (a fundo perdido) | | |
| | | 10% | 25% | 50% |
| RP1-Q | Não há | Não há | 205 | 191 |
| R1-B | Não há | Não há | 199 | 179 |
| R1-N | 211 | 202 | 184 | 164 |
| R1-A | 195 | 185 | 167 | 152 |
| R1-X | 187 | 176 | 156 | 142 |

Verifica-se que a concessão de subsídios para a implantação dos sistemas proporciona melhoria nos resultados financeiros, sendo que, para os patamares de 25% e 50%, a viabilidade foi alcançada para todos os projetos-padrão unifamiliares, ou seja, o *payback* é inferior, ainda que próximo, ao prazo limite de análise (240 meses).

Os custos totais para cada um dos três patamares de subsídios, considerando ainda os dois cenários no tocante à abrangência das casas existentes, estão descritos na Tabela 6.39. Tais valores foram obtidos multiplicando-se o número de casas abrangidas na análise, o custo normal dos sistemas e o patamar de subsídio concedido. Referem-se aos valores a serem dispendidos pelo poder público na hipótese de concessão dos subsídios.

Importante notar que, de acordo com os resultados descritos na Tabela 6.39, para a implantação generalizada do sistema de aproveitamento de água de chuva, o custo total estimado, sem subsídios, é da ordem de R\$1,43 x 10⁹. Considerando que, conforme os resultados explicitados nas Tabelas 6.10 e 6.18, onde constam o número total de casas existentes no município e a correlação com os projetos-padrão, além do volume do reservatório inferior dimensionado para cada um dos projetos unifamiliares, o volume potencial total de água de chuva que poderia ser estocada é de cerca de 1,34 x 10⁶ m³. A relação entre o custo total de implantação dos sistemas e potencial total de volume estocado de água de chuva resulta em aproximadamente R\$1.067,00/m³.

A importância de tal relação – não obstante desconsiderar outros benefícios e custos decorrentes dos sistemas – está na possibilidade de realização de outras análises comparativas, ressaltando-se que tais aspectos comparativos não são desenvolvidos na presente pesquisa, mas podem ser objeto de outros estudos.

- O planejamento financeiro e o cálculo dos custos marginais, desenvolvidos pelas prestadoras de serviço de saneamento, quanto à expansão das redes de captação, tratamento e distribuição de água potável;
- O planejamento financeiro e o cálculo dos custos referentes às redes públicas de drenagem pluvial, tratando-se de uma possibilidade analisar o impacto do aproveitamento de água de chuva com vistas à redução das vazões de pico, além da redução do consumo de água;
- Os custos de implantação de bacias de retenção de água de chuva, as quais poderiam, mediante adequado planejamento, serem utilizadas na oferta de água de chuva para fins não potáveis residenciais em microrregiões urbanas.

Tabela 6.39 – Custos totais dos subsídios para implantação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais unifamiliares em escala municipal

| Projetos-Padrão unifamiliares | Custos totais – sem subsídio e com subsídio – de implantação dos sistemas em edificações residenciais unifamiliares (R\$) | | | | | | | |
|----------------------------------|---|--------------------------------|-------------|-------------|---|--------------------------------|------------|-------------|
| | Abrangência de 100% das casas existentes | | | | Abrangência de 20% das casas existentes | | | |
| | Sem subsídio | Com subsídio (a fundo perdido) | | | Sem subsídio | Com subsídio (a fundo perdido) | | |
| | | 10% | 25% | 50% | | 10% | 25% | 50% |
| RP1-Q | 274.730.952 | 27.473.095 | 68.682.738 | 137.365.476 | 54.946.871 | 5.494.687 | 13.736.718 | 27.473.435 |
| R1-B | 178.605.390 | 17.860.539 | 44.651.347 | 89.302.695 | 35.719.717 | 3.571.972 | 8.929.929 | 17.859.859 |
| R1-N | 506.603.005 | 50.660.300 | 126.650.751 | 253.301.502 | 101.319.240 | 10.131.924 | 25.329.810 | 50.659.620 |
| R1-A | 463.074.741 | 46.307.474 | 115.768.685 | 231.537.371 | 92.616.495 | 9.261.650 | 23.154.124 | 46.308.248 |
| R1-X | 11.331.482 | 1.133.148 | 2.832.871 | 5.665.741 | 2.266.296 | 226.630 | 566.574 | 1.133.148 |
| Total | 1.434.345.570 | 143.434.557 | 358.586.392 | 717.172.785 | 286.868.620 | 28.686.862 | 71.717.155 | 143.434.310 |

7 DISCUSSÕES ACERCA DOS RESULTADOS OBTIDOS

O presente capítulo destina-se a apresentar discussões complementares às que foram feitas no capítulo anterior, bem como algumas ressalvas e estimativas de incertezas associadas aos métodos aplicados e aos resultados obtidos. Assim, estão incluídas na presente seção aspectos relacionados:

- Ao consumo residencial de água em função das características construtivas da edificação e do perfil socioeconômico das famílias residentes;
- À análise da distribuição das edificações residenciais existentes em Belo Horizonte;
- Às simulações hidráulicas dos sistemas de aproveitamento de água de chuva em diferentes cenários: (i) Variação do regime de chuvas, comparando-se os resultados entre Belo Horizonte e Porto Alegre; (ii) Variação para o regime de chuvas de Belo Horizonte: simulações para anos mais chuvosos e mais secos; (iii) Variação das áreas de captação (telhados);
- Ao uso combinado dos dispositivos hidráulicos economizadores, considerando-se diferentes percentuais de abrangência de edificações onde hipoteticamente seriam implantados;
- Aos resultados financeiros (retorno do investimento), incluindo os testes de sensibilidade, calculados a partir da variação no valor da cobrança pelo uso de recursos hídricos, que é parte integrante da composição tarifária.

7.1 *Consumo residencial de água*

As curvas descritas nas Figuras 6.4 e 6.6 enfatizam a influência da renda familiar sobre o consumo domiciliar de água. Observou-se que as variações do consumo residencial de água apresentam-se altos para classes socioeconômicas com menor renda e mais baixas para as classes com maior renda. Em outras palavras, verificou-se que, para classes socioeconômicas mais baixas, o incremento na renda familiar gera um maior impacto no consumo de água potável, ou seja, a sensibilidade ao consumo de água decorrente de variações na renda é maior para as classes de menor renda. Por outro lado, para classes socioeconômicas mais elevadas, a curva tende assintoticamente a um valor de saturação do consumo domiciliar de água, verificando-se um formato semelhante à curva logística (formato em “S”). Tais questões

também foram estudadas por Thompson *et al.* (1995), Faria (1995) e Thompson e Lima (2007).

Além disso, as relações entre renda familiar e consumo residencial de água são importantes aspectos na elaboração de políticas públicas referentes ao planejamento de expansão de sistemas de abastecimento. Uma possibilidade de aplicação das referidas relações é na projeção de consumo de água em diferentes cenários de desenvolvimento econômico – retração, estagnação ou crescimento –, sendo necessário considerar outras questões, como:

- Os impactos dos diferentes cenários econômicos nos percentuais de distribuição de renda;
- Fenômenos referentes à migração populacional dentro do mesmo município. Neste caso, há que se considerar que o aumento da renda também poderá ocasionar mudanças da família para imóveis que acarretam maior demanda por água ou reformas que provoquem o mesmo efeito;
- Correlação entre o consumo de água, renda familiar e características das residências, como padrão de acabamento, área construída e área do lote, sendo essa uma das hipóteses da pesquisa.

Uma questão relevante quanto à relação entre as classes socioeconômicas e as análises do consumo residencial de água é que há menor margem de redução do consumo para a classe DE, cujo patamar de consumo *per capita* de água é de 111 litros/ hab x dia, tendo em vista o atendimento às necessidades básicas das famílias. Em outras palavras, tal patamar não permite, a priori, uma grande redução do consumo, comparando-se às classes C e AB, cujos consumos *per capita* de referência são 136 e 175 litros/hab x dia, respectivamente. Essa constatação é um importante aspecto no tocante à elaboração de políticas públicas e determinação de prioridades de ação.

7.2 Distribuição de edificações residenciais em Belo Horizonte

A análise da distribuição de edificações residenciais existentes em Belo Horizonte pressupõe a adoção de aproximações (ou faixas) das áreas de cobertura (telhados para captação de água de chuva), tomando-se como referências os projetos-padrão, conforme explicado na seção 6.2. Salienta-se que os enquadramentos e correlações de projetos-padrão unifamiliares e as casas existentes, em função das faixas de área de cobertura, foram realizados com base nas frequências de ocorrências relativas e acumuladas.

A partir da referida análise, em função de suas áreas de cobertura, foram descartadas as casas com áreas acima de 260 m² para padrões P1P2 (baixo) e P3 (normal) e 450 m² para padrão P4P5 (alto). Tal critério abrangeu cerca de 404.901 casas existentes no município, equivalente a 97,1% do total. Contudo, o enquadramento de uma determinada faixa de área de cobertura para um projeto-padrão específico pode acarretar incertezas no levantamento do número de casas e nas projeções de extrapolação em larga escala dos resultados hidráulicos de potencial de economia de água.

Visando estudar esse aspecto, a partir da base de dados fornecida pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (PMBH), foram detalhadas as faixas de abrangência das áreas de cobertura dos projetos-padrão unifamiliares (casas). Os referidos dados e número de casas existentes por faixa de abrangência (áreas) estão descritos na Tabela 7.1. Destacam-se os projetos-padrão R1-N ($A_{cob} = 106,44 \text{ m}^2$) e R1-A ($A_{cob} = 224,82 \text{ m}^2$) que perfazem 36,7% (148.947 casas) e 29,6% (119.738 casas) do total de casas existentes, respectivamente, sendo os projetos mais representativos no local de estudo, em termos quantitativos. O projeto-padrão R1-N engloba a faixa de área de cobertura de 60 a 130 m², enquanto o projeto-padrão R1-A engloba a faixa de 130 a 260 m².

Tabela 7.1 – Projetos-padrão R1-N e R1-A – Faixas de abrangência (áreas)

| Projeto-padrão | Faixas de abrangência (Áreas, em m ²) | Número de casas | % |
|---|---|-----------------|-------|
| RP1-Q ($A_{cob}: 39,60 \text{ m}^2$) | 10,00 < A ≤ 39,60 | 80.117 | 99,2 |
| | 39,60 < A ≤ 40,00 | 657 | 0,8 |
| | Total | 80.774 | 100,0 |
| R1-B ($A_{cob}: 58,60 \text{ m}^2$) | 40,00 < A ≤ 58,60 | 51.969 | 98,9 |
| | 58,60 < A ≤ 60,00 | 550 | 1,1 |
| | Total | 52.519 | 100,0 |
| R1-N ($A_{cob}: 106,44 \text{ m}^2$) | 60,00 < A ≤ 106,44 | 80.483 | 54,0 |
| | 106,44 < A ≤ 130,00 | 68.462 | 46,0 |
| | Total | 148.945 | 100,0 |
| R1-A ($A_{cob}: 224,82 \text{ m}^2$) | 130,00 < A ≤ 224,82 | 62.984 | 52,6 |
| | 224,82 < A ≤ 260,00 | 56.755 | 47,4 |
| | Total | 119.739 | 100,0 |
| R1-X ($A_{cob}: 450,00 \text{ m}^2$) | 260,00 < A ≤ 450,00 | 14.146 | 94,3 |
| | 450,00 < A ≤ 1.000,00 | 853 | 5,7 |
| | Total | 14.999 | 100,0 |

Verificou-se que, para os projetos-padrão R1-N e R1-A, considerando os enquadramentos adotados, há uma ligeira concentração de casas na faixa abaixo da área de referência dos referidos projetos. Tal fato acarreta uma majoração das áreas de captação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva. Assim, visando a verificação de tal incerteza, foram realizadas simulações específicas para as áreas extremas de cada faixa considerada, utilizando-se o programa Netuno, para ambos os casos, conforme apresentado na Tabela 7.2.

Tabela 7.2 – Projetos-padrão R1-N e R1-A – Simulações de aproveitamento de água de chuva para áreas extremas nas faixas de abrangência

| Projeto-Padrão | Área de cobertura (m ²) | Variáveis hidráulicas ⁽¹⁾ | | |
|----------------|-------------------------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|
| | | PEC (%) | VC (litros/dia) | VE (litros/dia) |
| RP1-Q | 10,00 ⁽²⁾ | 28,0 | 34,8 | 0,2 |
| | 39,60 ⁽³⁾ | 59,5 | 74,4 | 65,1 |
| | 40,00 ⁽²⁾ | 59,5 | 74,8 | 66,6 |
| R1-B | 40,00 | 56,2 | 78,7 | 61,8 |
| | 58,60 | 62,7 | 87,8 | 119,9 |
| | 60,00 | 63,3 | 88,4 | 124,4 |
| R1-N | 60,00 ⁽²⁾ | 54,0 | 104,2 | 106,8 |
| | 106,44 ⁽³⁾ | 61,6 | 118,8 | 256,0 |
| | 130,00 ⁽²⁾ | 63,2 | 122,1 | 335,4 |
| R1-A | 130,00 ⁽²⁾ | 54,3 | 171,3 | 286,0 |
| | 224,82 ⁽³⁾ | 59,9 | 188,6 | 603,2 |
| | 260,00 ⁽²⁾ | 61,1 | 192,5 | 722,0 |
| R1-X | 260,00 | 53,4 | 238,0 | 676,7 |
| | 450,00 | 57,2 | 254,5 | 1.329,8 |
| | Até 1.000 | 60,5 | 269,5 | 3.236,1 |

(1) PEC (Potencial de economia de água potável);

VC (Volume consumido de água de chuva);

VE (Volume extravasado de água de chuva).

(2) Áreas de cobertura extremas das faixas de abrangência consideradas;

(3) Áreas de cobertura dos projetos-padrão, cujas simulações foram apresentadas anteriormente.

Observou-se que, no caso do projeto-padrão R1-N, a diferença entre os volumes consumidos de água de chuva (VC) para as áreas de 60 m² e 130 m² é de 31,6 litros/dia. No caso do projeto-padrão R1-A, a diferença, para faixa de áreas de 130 m² e 260 m² é de 34,6 litros/dia.

7.3 Simulações hidráulicas dos sistemas de aproveitamento de água de chuva

7.3.1 Variação do regime de chuvas: simulações comparativas entre as precipitações registradas para Porto Alegre e para Belo Horizonte

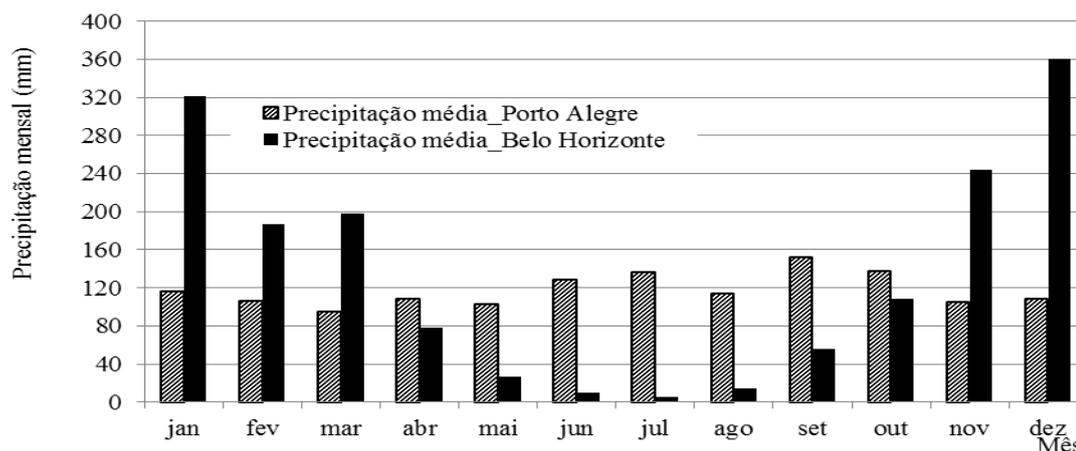
O objetivo da presente seção é realizar uma análise comparativa do desempenho dos sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais entre os municípios de Belo Horizonte e Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul, por apresentar perfil bastante distinto quanto ao regime de chuvas em relação ao primeiro.

Foram utilizados nas simulações os registros de precipitações obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a estação Porto Alegre – RS (OMM 83067), latitude: -30,05°, longitude -51,16° e altitude 46,97 m. O período abrangido na base de dados é o mesmo considerado nas simulações para Belo Horizonte, ou seja, 01/01/1988 a 31/12/2012, perfazendo um total de 25 anos.

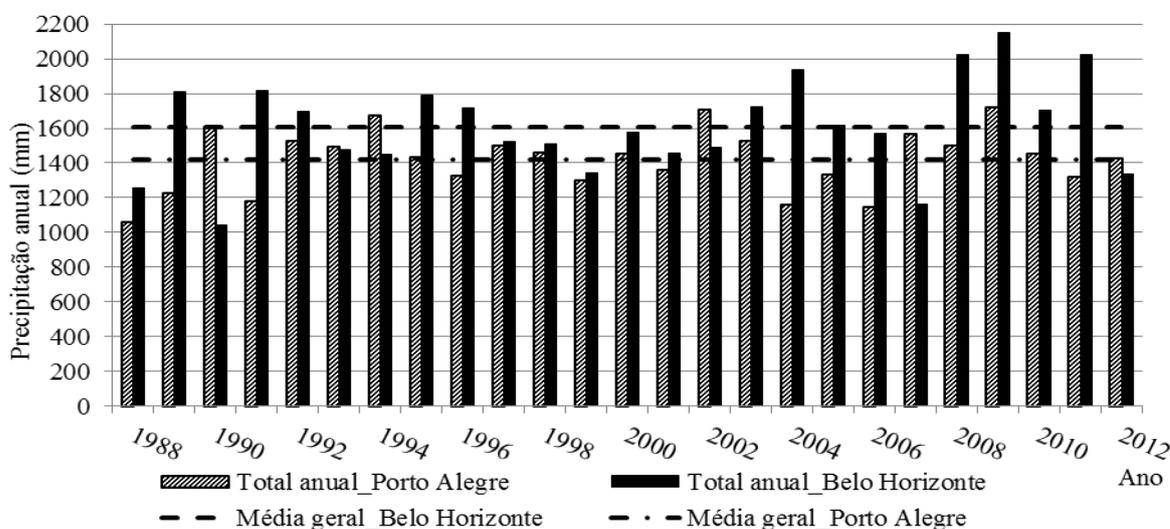
A Figura 7.1 apresenta a comparação entre os regimes de chuvas de Belo Horizonte e Porto Alegre, descrevendo, ao longo do período considerado, para cada um dos municípios: (a) as médias mensais; (b) os totais anuais e a média total. Algumas observações importantes puderam ser feitas nas séries históricas e na referida figura:

- A precipitação anual média é de 1.608 mm em Belo Horizonte, com ocorrência de chuvas em 30% dos dias do ano, enquanto a precipitação média anual em Porto Alegre é de 1.418 mm, ocorrendo chuvas em cerca de 40% dos dias do ano;
- O ano 2009 foi o mais chuvoso em ambos os municípios, sendo que, em Porto Alegre, houve 1.720 mm de chuvas e, em Belo Horizonte, 2.152 mm. O ano mais seco em Porto Alegre foi 1988, com 1.055 mm enquanto, em Belo Horizonte, choveu 1.040 mm em 1990, ano mais seco da série;
- Em Porto Alegre, a distribuição das chuvas ocorre de maneira praticamente uniforme ao longo do ano, próximo ao patamar médio de 120 mm mensais. Por outro lado, em Belo Horizonte, como já mencionado anteriormente, a distribuição média de chuvas ao longo do ano não segue regime uniforme, percebendo-se que os meses de maio a agosto são eminentemente secos, com precipitações médias mensais inferiores a 50 mm, enquanto nos meses de novembro a março as precipitações são, em média, superiores a 180 mm ao mês.

Figura 7.1 – Precipitações – média mensal e total anual – Belo Horizonte e Porto Alegre



a) Médias mensais ao longo do período considerado – 25 nos – de precipitações em Porto Alegre e em Belo Horizonte



b) Total anual e média total ao longo do período considerado – 25 nos – de precipitações em Porto Alegre e em Belo Horizonte

As simulações de implantação do sistema para o perfil pluviométrico de Porto Alegre foram realizadas utilizando-se o programa computacional Netuno (Ghisi e Cordova, 2014) e os mesmos critérios já explicitados para os 15 projetos-padrão residenciais – 5 unifamiliares e 10 multifamiliares. Assim, as comparações entre os potenciais hidráulicos foram possíveis por meio da “transferência” do regime de chuvas de Porto Alegre para o município de Belo Horizonte, onde é conhecida a distribuição das edificações residenciais existentes, conforme detalhado nas seções anteriores.

A Tabela 7.3 sintetiza os potenciais hidráulicos correspondentes aos regimes de chuvas de Belo Horizonte e Porto Alegre, considerando a hipótese de uso generalizado dos sistemas em todas as edificações residenciais existentes no município de Belo Horizonte. Para tanto, foram determinadas as variáveis hidráulicas *volume consumido de água de chuva* (VC) e o *volume*

de água de chuva extravasado do sistema (VE), estabelecendo-se como referência os volumes ótimos do reservatório inferior (RI) correspondentes às simulações realizadas para Belo Horizonte, os quais foram mantidos para Porto Alegre, de modo a permitir a comparação entre as respectivas variáveis hidráulicas. Também considerou-se a existência de reservatório superior com volume equivalente à demanda diária de água não potável na edificação.

Tabela 7.3 – Potenciais hidráulicos dos sistemas de aproveitamento de chuva para edificações residenciais em Belo Horizonte e Porto Alegre

| Projetos-Padrão | Variáveis hidráulicas | | | | |
|-------------------------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|-----------|
| | VC (m ³ /mês) | | VE (m ³ /mês) | | |
| | BH | POA | BH | POA | |
| Unifamiliars (casas) | RP1-Q | 180.300 | 255.407 | 157.752 | 44.587 |
| | R1-B | 138.330 | 198.968 | 188.886 | 90.426 |
| | R1-N | 530.850 | 775.269 | 1.143.913 | 714.499 |
| | R1-A | 677.490 | 1.014.420 | 2.166.779 | 1.514.446 |
| | R1-X | 22.380 | 33.798 | 116.889 | 89.895 |
| Sub total / casas | 1.549.350 | 2.277.862 | 3.774.219 | 2.453.853 | |
| Multifamiliars (edifícios) | PIS | 23.250 | 22.483 | 14.047 | 10.739 |
| | PP-B | 8.610 | 9.743 | 6.993 | 4.149 |
| | PP-N | 92.910 | 107.435 | 125.604 | 86.862 |
| | R8-B | 4.500 | 4.619 | 1.521 | 743 |
| | R8-N | 28.650 | 29.988 | 17.655 | 11.224 |
| | R8-A | 102.030 | 114.794 | 92.658 | 58.426 |
| | R16-N | 31.290 | 30.975 | 10.797 | 5.850 |
| | R16-A | 32.910 | 35.190 | 16.407 | 8.680 |
| | R8-X | 31.560 | 35.367 | 41.002 | 29.119 |
| R8-Y | 44.490 | 49.596 | 106.142 | 83.949 | |
| Sub total / edifícios | 400.200 | 440.190 | 432.826 | 299.741 | |
| Total (m ³ /mês) | 1.949.550 | 2.718.052 | 4.207.045 | 2.753.594 | |
| Total (m ³ /ano) | 23.394.600 | 32.616.624 | 50.484.540 | 33.043.128 | |

(1) VC: Volume médio consumido de água de chuva; VE: Volume médio extravasado de água de chuva;

(2) POA: Porto Alegre; BH: Belo Horizonte

As simulações comparativas realizadas nos projetos-padrão residenciais para as características pluviométricas de Porto Alegre e Belo Horizonte permitiram a verificação da relevância da distribuição das precipitações pluviométricas ao longo do ano no que tange ao desempenho dos sistemas de aproveitamento domiciliar de água de chuva.

De modo geral, o volume consumido de água de chuva (VC) para Belo Horizonte é inferior em relação a Porto Alegre, sendo que ocorre o inverso para o volume de água de chuva extravasada do sistema (VE), ou seja, os valores encontrados para Belo Horizonte são superiores em relação aos de Porto Alegre. Em escala municipal, para a variável VC, a diferença entre os potenciais de economia de água potável é de aproximadamente $9,2 \times 10^6$ m³/ano enquanto que, no caso da variável VE, a diferença é de cerca de $17,4 \times 10^6$ m³/ano.

A Tabela 7.4 descreve, por meio da variável *volume extravasado de água de chuva* (VE) o qual é destinado à rede pública de drenagem pluvial, o comportamento sazonal do sistema de aproveitamento para os dois perfis pluviométricos estudados. A análise da sazonalidade para esse caso foi aplicada aos projetos-padrão unifamiliares R1-N e R1-A, os quais possuem maior representatividade quantitativa em relação às demais casas.

Tabela 7.4 – Volumes extravasados de água de chuva para Porto Alegre e Belo Horizonte

| Mês | Volumes médios extravasados de água de chuva (VE) (litros/dia) | | | |
|--------------|--|-------------------|------|------|
| | R1-N | | R1-A | |
| | POA ⁽¹⁾ | BH ⁽¹⁾ | POA | BH |
| Janeiro | 93 | 643 | 161 | 1451 |
| Fevereiro | 95 | 466 | 121 | 1087 |
| Março | 48 | 320 | 61 | 761 |
| Abril | 86 | 72 | 112 | 207 |
| Maio | 40 | 1 | 50 | 19 |
| Junho | 80 | 0 | 100 | 5 |
| Julho | 83 | 0 | 106 | 0 |
| Agosto | 50 | 2,5 | 70 | 24 |
| Setembro | 83 | 44 | 121 | 174 |
| Outubro | 109 | 182 | 145 | 490 |
| Novembro | 83 | 440 | 130 | 1025 |
| Dezembro | 68 | 903 | 93 | 1985 |
| Média diária | 77 | 256 | 106 | 602 |

(1) BH: Belo Horizonte; POA: Porto Alegre

A homogeneidade do volume extravasado (VE) ao longo do ano para o município de Porto Alegre em relação a Belo Horizonte está relacionada ao perfil pluviométrico, para o qual há poucas variações nos diferentes meses do ano. Os elevados níveis de chuva que ocorrem em Belo Horizonte entre os meses de novembro a março acarretam o maior extravasamento de água de chuva. Trata-se, portanto, de uma importante variável nos estudos que aplicam o uso de sistemas de aproveitamento de água de chuva à drenagem urbana.

7.3.2 Variação entre as simulações para série histórica, ano mais chuvoso e ano mais seco

As simulações dos sistemas de aproveitamento de água de chuva utilizaram a série histórica de 25 anos (1988 a 2012) de precipitações registradas na Estação Caixa de Areia, em Belo Horizonte, a qual apresentou média anual de 1.608 mm. Destacam-se o ano mais seco (1990), com um total de 1.040 mm, quando choveu em 27% dos dias e o mais chuvoso (2009), com um total de 2.152 mm, quando ocorreram chuvas em 35% dos dias, conforme já mencionado.

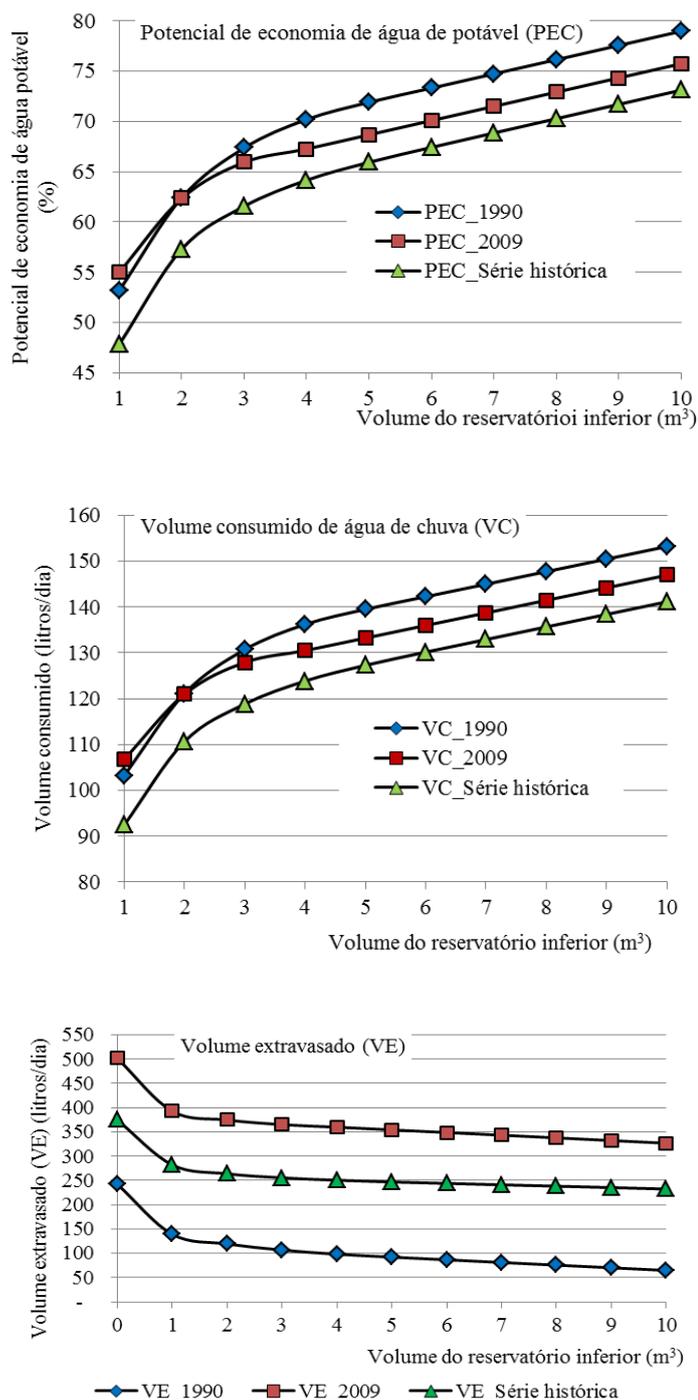
A presente seção objetiva simular o funcionamento do sistema considerando o intervalo existente entre as precipitações no ano mais chuvoso (2009) e no mais seco da série (1990), utilizando-se os registros pluviométricos de 365 dias em cada um dos anos. A simulação foi realizada por meio do programa computacional Netuno, tomando-se o projeto-padrão unifamiliar R1-N como referência, cuja área de cobertura é de 106,44 m², bem como suas demandas estimativas de água não potável por pontos de consumo, para irrigação de jardins, lavagem de piso e descarga sanitária, na opção de caixa de duplo acionamento (*dual flush*).

Estão apresentadas na Figura 7.2 as curvas com as variáveis hidráulicas – potencial de economia de água potável (PEC), volume consumido de água de chuva (VC) e volume extravasado de água de chuva (VE) – em função do volume do reservatório inferior (RI) (m³) para o projeto-padrão R1-N. Foram plotadas na referida figura as variáveis hidráulicas para os dois anos mencionados (1990 e 2009) e para a série histórica de 25 anos, permitindo a visualização do desempenho do sistema nos três diferentes cenários para os quais as simulações foram elaboradas – ano mais seco, ano mais chuvoso e série histórica.

Tomando-se por base o projeto-padrão R1-N, verificou-se que as curvas correspondentes a cada variável estudada apresentam formato semelhante entre si. Quantitativamente, estabelecendo-se o reservatório inferior com volume de 3 m³, o qual corresponde ao volume ótimo calculado a partir da simulação pela série histórica de precipitações (25 anos), foram observadas diferenças entre os três cenários, para cada variável, conforme detalhado a seguir:

- A simulação baseada na série histórica indicou, para o potencial de economia de água potável (PEC) de aproximadamente 62%, enquanto que, para o ano mais chuvoso e o mais seco, tal variável foi praticamente igual a 66% e 67%, respectivamente;
- Os maiores valores das variáveis PEC e VC foram obtidos para o ano mais seco (1990), fato que pode ser explicado pelo menor volume extravasado (VE) no mesmo ano;

Figura 7.2 – R1-N – Variáveis hidráulicas de aproveitamento de água de chuva para Belo Horizonte, para série histórica, ano mais seco (1990) e ano mais chuvoso (2009)



- Há uma diferença de 3 litros/dia na variável VC, comparando-se as curvas referentes ao ano mais seco (131 litros/dia) e o mais chuvoso (128 litros/dia), sendo que, entre a curva correspondente ao ano mais chuvoso e à série histórica, a diferença é de 12 litros/dia;
- A diferença entre as curvas da variável VE é de 258 litros/dia entre o ano mais chuvoso (365 litros/dia) e o mais seco (107 litros/dia). Para a série histórica, foi de 256 litros/dia.

7.3.3 Variação das áreas de captação

Um dos fatores relevantes dos sistemas de aproveitamento de água de chuva refere-se às dimensões reduzidas dos telhados dos projetos-padrão e que, por isso, são insuficientes para atendimento das demandas de água não potável, estimadas pelos pontos de consumo, pois geram pouca oferta de água de chuva. Em outras palavras, as demandas de água não potável não são supridas porque as “bacias”, ou seja, os telhados, não fornecem água suficiente.

Objetivando verificar tal situação, foram calculados os variáveis hidráulicas – volume do reservatório inferior (RI, m³), potencial de economia de água potável (PEC, em %) e volume consumido de água de chuva (VC, em litros/dia) – para os projetos-padrão R1-N (unifamiliar), R8-A e PP-N (multifamiliares), os quais foram tomados como referência devido à representatividade quantitativa que representam em relação ao total de edificações.

As simulações foram feitas por meio do programa computacional Netuno, considerando o uso de válvula de descarga, mantendo-se constantes as demandas, enquanto a área do telhado foi aumentada gradativamente, em intervalos de 10%, possibilitando a verificação do potencial de aproveitamento. A Tabela 7.5 e a Figura 7.3 *a*, *b* e *c* apresentam os resultados das referidas simulações para os projetos-padrão R1-N, R8-A e PP-N.

Tabela 7.5 – Projetos-Padrão R1-N, R8-A e PP-N – Simulação variando a área de cobertura

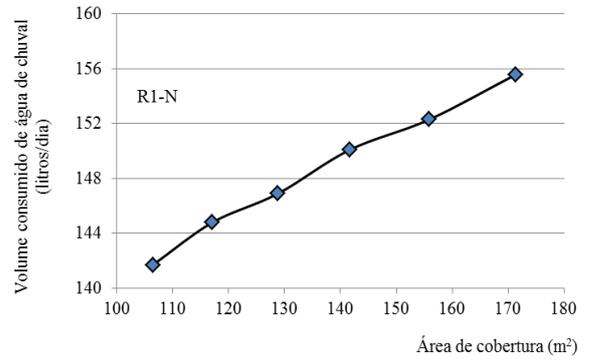
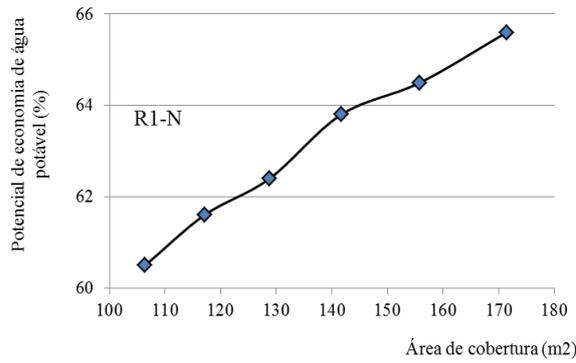
| Projeto-Padrão | Área ⁽¹⁾ (m ²) | Parâmetros hidráulicos | | |
|----------------|---------------------------------------|------------------------|---------|-----------------|
| | | RI (m3) | PEC (%) | VC (litros/dia) |
| R1-N | 106,44 (área original do projeto) | 3 | 60,5 | 142 |
| | 117,00 | 3 | 59,3 | 144 |
| | 129,00 | 3 | 60,2 | 146 |
| | 142,00 | 3 | 61,3 | 149 |
| | 156,00 | 4 | 65,3 | 153 |
| | 171,00 | 4 | 66,0 | 155 |
| R8-A | 371,06 (área original do projeto) | 6 | 22,9 | 792 |
| | 408,00 | 6 | 24,0 | 805 |
| | 449,00 | 7 | 25,1 | 870 |
| | 494,00 | 7 | 25,9 | 897 |
| | 543,00 | 8 | 28,2 | 976 |
| | 598,00 | 8 | 29,0 | 1004 |
| PP-N | 348,81 (área original do projeto) | 4 | 22,8 | 628 |
| | 384,00 | 4 | 24,1 | 663 |
| | 422,00 | 5 | 25,9 | 713 |
| | 464,00 | 5 | 26,6 | 732 |
| | 511,00 | 6 | 29,3 | 806 |
| | 562,00 | 6 | 30,0 | 825 |

(1) Acrescentou-se 10%, a partir da área original dos projetos-padrão R1-N, R8-A e PP-N.

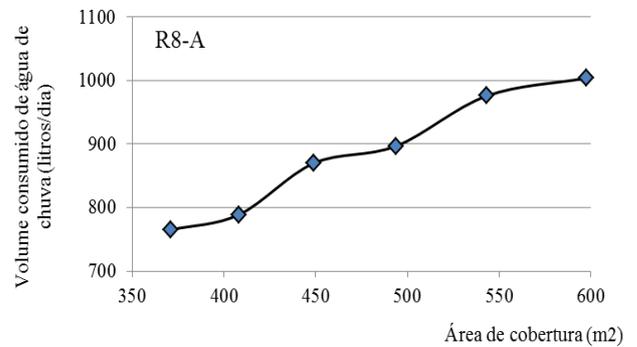
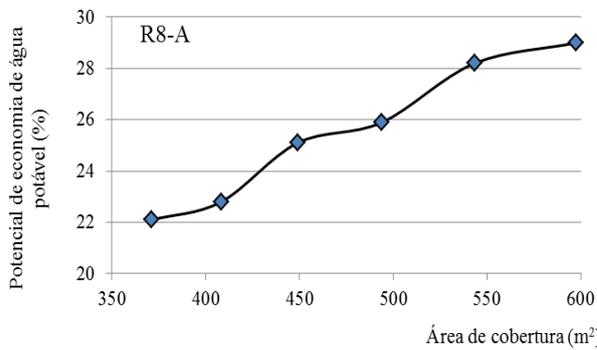
As demandas estimativas de água não potável foram mantidas, apesar da variação da área de cobertura

Figura 7.3 – Projetos-Padrão R1-N, R8-A e PP-N – Simulação variando a área de cobertura

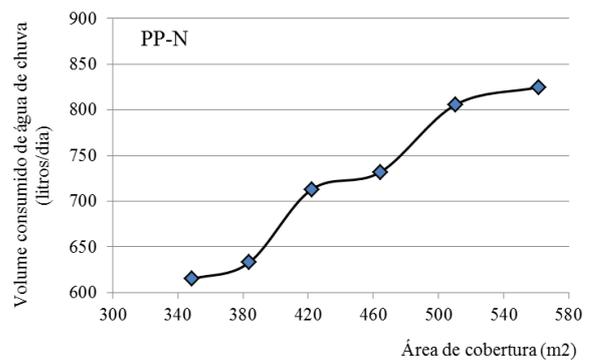
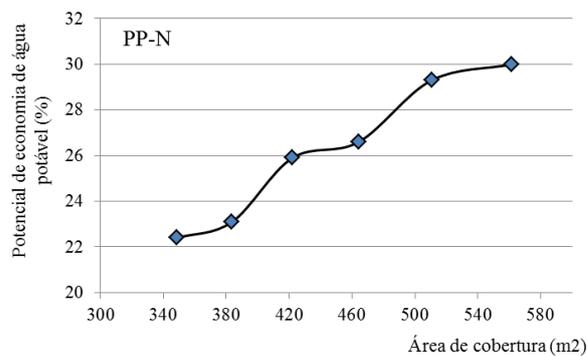
a) R1-N_ A_{cob} : 106,44 m²



b) R8-A_ A_{cob} : 371,06 m²



c) PP-N_ A_{cob} : 348,81 m²



Nas simulações realizadas, não foi observado um ponto de máximo na relação entre as variáveis dos sistemas de aproveitamento de água de chuva (PEC e VC) e as áreas de cobertura. Em outras palavras, há um aumento contínuo nas referidas variáveis a partir do aumento da área do telhado e, por consequência, das áreas construídas, não tendo sido encontrado um ponto de saturação.

7.4 *Uso generalizado dos dispositivos economizadores de água potável em escala municipal*

A determinação do potencial de economia de água potável, em escala municipal, por meio do efeito dos três dispositivos – aproveitamento de água de chuva, uso de aparelhos economizadores e medição individualizada – foi conduzida a partir da hipótese de uso generalizado dos mesmos em todas as edificações residenciais existentes no município, conforme levantamento da base cadastral da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. A presente seção destina-se a simular outros cenários de uso dos dispositivos economizadores, variando o número de edificações nas quais estão instalados.

A partir do número total de edificações existentes no município, conforme correlação com os projetos-padrão (Tabela 6.10), aplicaram-se coeficientes de 20, 40, 60 e 80%, incidindo-os sobre os quantitativos de edificações residenciais na referida tabela. Desta forma, obteve-se a Tabela 7.6, que apresenta o número de casas e edifícios nos cinco cenários referentes ao percentual de edificações consideradas na determinação do potencial em escala municipal.

Tabela 7.6 – Número de edificações residenciais em cinco cenários considerados em escala municipal

| Projetos-Padrão e número de domicílios por edificação | | Percentual em relação ao total e número de edificações consideradas nas simulações dos 5 cenários | | | | | |
|---|---------------------------|---|---------|---------|--------|--------|--------|
| | | 100% | 80% | 60% | 40% | 20% | |
| RP1-Q | | 1 | 80.774 | 64.619 | 48.464 | 32.310 | 16.155 |
| R1-B | Padrão P1P2 – Baixo | 1 | 52.512 | 42.010 | 31.507 | 21.005 | 10.502 |
| PIS | | 20 | 1.781 | 1.425 | 1.069 | 712 | 356 |
| PP-B | | 16 | 678 | 542 | 407 | 271 | 136 |
| R8-B | | 32 | 259 | 207 | 155 | 104 | 52 |
| R1-N | | 1 | 148.947 | 119.158 | 89.368 | 59.579 | 29.789 |
| PP-N | Padrão P3 – Normal | 16 | 5.932 | 4.746 | 3.559 | 2.373 | 1.186 |
| R8-N | | 32 | 1.258 | 1.006 | 755 | 503 | 252 |
| R8-Y | | 64 | 1.026 | 821 | 616 | 410 | 205 |
| R16-N | | 64 | 1.124 | 899 | 674 | 450 | 225 |
| R1-A | | 1 | 119.738 | 95.790 | 71.843 | 47.895 | 23.948 |
| R1-X | Padrão P4P5 – Alto | 1 | 2.930 | 2.344 | 1.758 | 1.172 | 586 |
| R8-A | | 16 | 4.972 | 3.978 | 2.983 | 1.989 | 994 |
| R8-X | | 32 | 919 | 735 | 551 | 368 | 184 |
| R16-A | | 32 | 1.259 | 1.007 | 755 | 504 | 252 |

O número de edificações correspondente a cada um dos cenários explicitados na Tabela 7.7 foi relacionado ao potencial de economia de água potável, por projeto-padrão, considerando o

uso generalizado em todas as edificações do município, conforme descrito na Tabela 6.33. Essa relação foi feita por meio de proporção simples entre os elementos das duas tabelas – 6.33 e 7.6 –, obtendo-se a Tabela 7.7, que apresenta o potencial de redução do consumo de água potável, para cada um dos três dispositivos economizadores e cenários adotados.

Tabela 7.7 – Relação entre o potencial de economia de água potável e o percentual de edificações existentes abrangidas nas simulações

| Cenários (% de edificações abrangidas) | Potencial de economia de água potável ($10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$) | | |
|--|---|------------------------------|------------------------------|
| | Aproveitamento de água de chuva | Aparelhos economizadores | Medição individualizada |
| 20 | 4,7 | 5,9 | 3,8 |
| 40 | 9,4 | 11,8 | 7,5 |
| 60 | 14,0 | 17,8 | 11,3 |
| 80 | 18,7 | 23,7 | 15,0 |
| 100 | 23,4 19,5% ⁽¹⁾ | 29,6 24,7% ⁽¹⁾ | 18,8 15,7% ⁽¹⁾ |

(1) Os valores entre parênteses referem-se ao potencial (percentual) de economia de água potável em relação ao consumo domiciliar total em Belo Horizonte, em média $120 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$, na hipótese de uso generalizado dos referidos dispositivos em todas as edificações residenciais no município, para cada um dos dispositivos

Ainda que não seja considerado o uso simultâneo de todos os dispositivos, conforme mencionado anteriormente, os resultados descritos na Tabela 7.7 são úteis na perspectiva de planejamento de políticas públicas, no tocante à disseminação das técnicas que proporcionem a redução do consumo residencial de água em escala municipal, principalmente quanto aos seguintes aspectos:

- Tipo de dispositivo a ser priorizado: verifica-se que o aproveitamento de água de chuva não conduz a valores muito superiores aos outros dois dispositivos, salientando-se que o primeiro depende fundamentalmente do regime climático do local de estudo, fato que não ocorre com os outros dois;
- Tipo de edificações – casas e edifícios – a serem priorizadas na implantação das políticas públicas: observa-se que, devido ao número de edificações existentes e os respectivos potenciais de economia de água potável, os resultados indicam que a priorização deve ser direcionada às edificações de maiores áreas de cobertura, normalmente associadas às classes socioeconômicas mais elevadas.

7.5 *Discussões referentes às análises financeiras*

Conforme já mencionado, as análises de projetos podem ser conduzidas a partir de duas óticas distintas: (i) análise financeira, do ponto de vista do investidor privado, onde o interesse é a maximização da satisfação do indivíduo (investidor); (ii) análise econômica, do ponto de vista social, onde há a priorização do interesse coletivo. Ressalta-se que a água, visto ser um recurso natural imprescindível à manutenção da vida e ao desenvolvimento da sociedade (BRASIL, 2007), deve ser analisado pelos responsáveis pela formulação e implementação de políticas públicas com foco no benefício coletivo. Entretanto, quando o uso da água potável está inscrito em propriedades (residências privadas) e as alternativas que proporcionam redução do seu consumo implicam em custos de implantação, operacionais e de manutenção, a satisfação do indivíduo – análise de viabilidade financeira – também deve ser considerada.

Salienta-se que o enfoque principal do presente estudo consiste nas análises financeiras e não na econômica. Não obstante, deve ser considerado, na ótica econômico-social, o direito humano à água, conforme descrito por Bulto (2015), como “um direito independente, com a sua base jurídica dada pelo Pacto Internacional pelos Direitos Econômicos, Sociais e Culturais (PIDESC), pelo direito internacional da água e pelo direito ambiental internacional”. Além disso, é importante que as decisões sejam baseadas no benefício agregado para a sociedade decorrente da economia de água potável em escala municipal e a manutenção de níveis compatíveis de abastecimento. Tais aspectos são preconizados pela Lei 11.445/2007 – Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (BRASIL, 2007), que aborda ainda: (i) a universalização do acesso ao saneamento; (ii) a integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados; (iii) a disponibilidade do recurso; (iv) a eficiência e sustentabilidade econômica; (v) o controle social; (vi) a segurança, qualidade e regularidade; (vii) a integração das infraestruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

No contexto da presente pesquisa, as análises financeiras sob a ótica privada, dos sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais possibilitaram a constatação que os resultados são relativamente insatisfatórios, para as diferentes taxas de retorno adotadas. Nas simulações realizadas, apenas para alguns casos, notadamente as edificações de maiores áreas de cobertura, apresentaram período de retorno inferior (*payback*) ao tempo de análise do projeto. Assim, verifica-se que, do ponto de vista financeiro, há um indicativo para priorização de implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em tais

edificações, normalmente associadas às classes socioeconômicas mais elevadas e que, conforme já discutido, apresentem maior consumo de água.

As análises financeiras referentes ao sistema de aproveitamento de água de chuva para edificações unifamiliares resultou em viabilidade apenas para as casas de padrão construtivo normal e alto (R1-N, R1-A e R1-X), correspondentes às classes socioeconômicas AB e C, as quais apresentam maior consumo de água. Os demais projetos-padrão, notadamente R1-B e RP1-Q, resultaram em inviabilidade financeira e um *payback* que não foi alcançado no tempo estimado do projeto (20 anos), pela ótica do custo-benefício privado. Tal aspecto está reforçado nos resultados para as edificações multifamiliares, onde há relação de maior rentabilidade para maiores consumos.

Os projetos-padrão multifamiliares PP-N e R8-A – associados, normalmente, às classes socioeconômicas mais elevadas –, são tipologias construtivas as quais, juntas, representam 47,8% dos edifícios existentes. Para o sistema de aproveitamento de água de chuva, o projeto PP-N apresentou elevados períodos de retorno para as três diferentes taxas de desconto, enquanto o projeto R8-A mostrou-se viável apenas para a taxa de desconto nula. Os projetos R8-X e R8-Y, os quais também são de padrão normal e alto, mas que possuem maiores áreas de telhado, apresentaram resultados financeiros melhores em relação aos demais projetos.

Os resultados descritos, notadamente quanto ao aproveitamento de água de chuva em residências, corroboram a necessidade de implantação de alternativas e mecanismos de caráter econômico-social, para que seja alcançado o benefício agregado, em escala municipal, referente à redução do consumo domiciliar de água potável. Tal situação foi mencionada na revisão de literatura, item 3.4.2, conforme conceituação proposta por Contador (2000), no tocante aos projetos tipo III, os quais são viáveis sob a ótica social, mas financeiramente inviáveis, sob a ótica do investidor privado.

Para o uso de medição individualizada em edifícios e aparelhos hidráulicos economizadores, foram verificados melhores resultados financeiros em relação aos obtidos para os sistemas de aproveitamento de água de chuva, apresentando menores períodos de retorno, para os diferentes cenários de taxas de retorno. Os referidos resultados podem ser justificados: (i) pelos custos de implantação menores em relação aos do aproveitamento de água de chuva e (ii) pela constância dos benefícios financeiros decorrentes do fato de não dependerem de condições climáticas, proporcionando a economia de água potável ao longo de todo o ano.

A economia gerada pela implantação de medição individualizada em edifícios e o uso de aparelhos hidráulicos economizadores em edificações residenciais é maior para os grandes consumidores de água, em edificações de padrão construtivo normal e alto, cujos moradores correspondem às classes socioeconômicas AB e C. As edificações de padrão construtivo baixo, com população pertencente à classe DE proporcionam menor potencial de economia de água em decorrência do uso dos referidos dispositivos, em escala municipal.

A pesquisa mostrou que, de forma geral, no contexto do município de Belo Horizonte, a implantação de dispositivos economizadores de água em domicílios habitados por famílias enquadradas nas classes agregadas AB e C gera maior impacto em larga escala, em relação às classes DE. Neste sentido, os resultados indicaram que as ações voltadas para os grandes consumidores, ou seja, nos domicílios com famílias que possuem maior poder aquisitivo, onde há maior consumo de água, pode haver melhor atratividade financeira, com tendência de menor *payback* e maior valor presente líquido.

No tocante à análise econômica e aos benefícios sociais – os quais não foram quantificados na presente pesquisa – decorrentes do emprego dos dispositivos economizadores de água potável, podem ser mencionados: (i) benefícios ecológicos, mantendo a água nos mananciais de origem, aumentando a segurança hídrica e possibilitando outros usos de valor econômico relevantes para a sociedade; (ii) redução do uso de energia e químicos para produção e distribuição de água potável; (iii) possível postergação de investimentos em infraestrutura centralizada para produção e distribuição de água potável. Por outro lado, também não foram computados na pesquisa os custos transacionais por parte dos órgãos públicos, correspondentes à gestão da implantação dos dispositivos economizadores, sobretudo quanto à concessão de incentivos fiscais, subsídios ou financiamentos. Tais custos referem-se à elaboração e distribuição de materiais de orientação, treinamento e ação dos agentes fiscalizadores, dentre outros.

Contudo, quanto ao aproveitamento de água de chuva em localidades com regimes de precipitações sazonais como o caso de Belo Horizonte, alguns dos benefícios listados acima podem apresentar menor potencial do que o esperado. Neste sentido, a combinação dos dispositivos estudados pode ser uma alternativa interessante. De fato, os dispositivos hidráulicos – aparelhos economizadores e medição individualizada – funcionam o ano inteiro, não ocorrendo o mesmo com o sistema de aproveitamento de água de chuva.

Há ainda o aspecto referente ao equilíbrio financeiro das prestadoras de serviço de saneamento, responsáveis pela produção e distribuição de água potável, o qual não foi

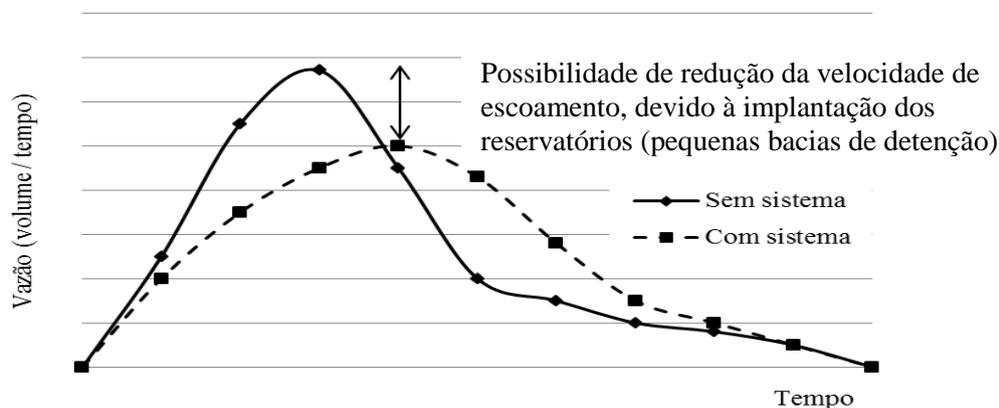
desenvolvido na pesquisa. Assim, se o consumo de água potável é reduzido, a recuperação dos investimentos torna-se mais longa, podendo gerar dificuldades à prestadora de serviços.

Apesar de não ser o foco da presente pesquisa, no tocante ao aproveitamento de água de chuva, há que ser ressaltada a importância das edificações comerciais, institucionais e industriais de grande porte. Tais edificações, conforme verificado para os domicílios de maior porte, possuem elevado potencial de produção e consumo de água de chuva e, por consequência, potencial de geração de bons resultados financeiros.

7.6 Impacto no sistema público de drenagem

Outro aspecto importante, conforme já mencionado, quanto ao volume extravasado dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, refere-se à redução da sobrecarga sobre o sistema público de drenagem urbana. Assim, os referidos sistemas podem também contribuir para a redução dos impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico urbano, sendo que os reservatórios de acumulação, neste caso, funcionam como pequenas bacias de detenção, as quais reduzem os picos de vazões de descarga na rede pluvial, conforme ilustrado na Figura 7.4, que descreve os hidrogramas considerando a existência ou não dos sistemas de aproveitamento de água de chuva.

Figura 7.4 – Esquema ilustrativo dos hidrogramas comparativos considerando os cenários de existência ou inexistência de sistemas de aproveitamento de água de chuva



Dornelles (2012), simulou os efeitos do aproveitamento de água de chuva objetivando a redução das vazões na rede pluvial no município de Porto Alegre. Obteve resultados que mostraram uma redução no volume do hidrograma, na ordem de cerca de 6% para 75% de garantia, considerando a instalação do sistema em habitações de padrão popular.

Assim, pode ser destacada outra possibilidade de estudo, para o contexto do município de Belo Horizonte, a partir das considerações realizadas e dos volumes extravasados de água de chuva descritos na presente pesquisa.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente capítulo apresenta um panorama geral da pesquisa, abordando, em linhas gerais:

- As motivações, objetivos e hipóteses da pesquisa;
- As diretrizes metodológicas aplicadas no desenvolvimento do trabalho;
- Os resultados obtidos, destacando o potencial de economia de água decorrente do uso dos dispositivos hidráulicos estudados, bem como as análises financeiras;
- As contribuições, incertezas e recomendações de futuros trabalhos a serem desenvolvidos, a partir da pesquisa.

Um dos argumentos quanto à relevância do tema proposto no presente trabalho foi o preenchimento de uma lacuna nas pesquisas descritas na revisão de literatura referente à avaliação de medidas de conservação de água potável no âmbito domiciliar, especificamente a implantação, em residências, de dispositivos economizadores – aproveitamento de água de chuva, uso de aparelhos hidráulicos economizadores e medição individualizada em edifícios de apartamentos. Neste sentido, a partir do levantamento das edificações residenciais existentes no local tomado como estudo de caso – o município de Belo Horizonte –, e sua correlação com um total de quinze projetos-padrão residenciais, entende-se que foram alcançados os objetivos geral e específicos propostos, destacando-se: (i) estudo do consumo domiciliar de água e suas relações com variáveis socioeconômicas e construtivas; (ii) análise de viabilidade técnica (potencial hidráulico de redução do consumo de água potável) e financeira (sob a ótica do investidor privado); (iii) proposição de diretrizes para a elaboração de políticas públicas relativas ao tema.

Foi proposta inicialmente a questão: “no esforço global por redução de consumo por água potável, qual a contribuição de cada classe socioeconômica?”. Salienta-se que o “esforço global” mencionado refere-se à população residente na região urbana onde estão sendo planejadas as ações pela manutenção de níveis adequados de abastecimento de água, ou seja, é a ação de gerenciamento em nível “meso”, na escala dos sistemas de saneamento, conforme indicado por Oliveira (1999).

O desenvolvimento da pesquisa – metodologia e resultados obtidos – procurou responder à questão formulada e confirmou as hipóteses propostas inicialmente, dentre as quais são enfatizadas:

- A relação de dependência que existe entre o consumo domiciliar de água, o perfil socioeconômico das famílias e características físicas e construtivas da residência;
- A importância do emprego de métodos de análise financeira, sob a ótica do investidor privado, para o auxílio à decisão quanto aos estudos de viabilidade em larga escala e formulação de políticas públicas;
- a importância da adequada formulação de políticas públicas referentes à disseminação do uso de dispositivos economizadores de água potável, englobando a oferta de subsídios financeiros e linhas de financiamento para a aquisição de equipamentos economizadores, bem como regulações, principalmente aplicadas a edificações a serem construídas, no sentido de recomendar a implantação dos dispositivos estudados.

A metodologia aplicada no estudo apresentou-se útil na perspectiva de avaliar o potencial de economia de água potável no âmbito domiciliar em grandes centros urbanos, por meio da implantação dos dispositivos hidráulicos economizadores – sistemas de aproveitamento de água de chuva, uso de aparelhos economizadores e medição individualizada de água em edifícios. Para tanto, foram realizadas simulações – hidráulicas e financeiras – de implantação dos referidos dispositivos em quinze projetos-padrão residenciais, tomando-se por base a NBR 12.721 (ABNT, 2006), sendo cinco unifamiliares (casas) e dez multifamiliares (edifícios de apartamentos). Tais projetos-padrão foram selecionados com o objetivo de reduzir a variabilidade das edificações residenciais existentes no município de Belo Horizonte, tomado como estudo de caso. As simulações hidráulicas visaram à obtenção do potencial de economia de água potável em escala municipal e as financeiras, às análises de viabilidade e de retorno de investimento (*payback*), sob a ótica do investidor privado.

O método utilizado permitiu a determinação do potencial anual de redução do consumo domiciliar de água potável em decorrência da implantação de dispositivos economizadores em edificações residenciais. A partir das simulações individuais dos dispositivos economizadores em cada projeto-padrão, foram possíveis também as extrapolações dos potenciais de redução do consumo de água potável, em escala municipal, adotando-se o cenário hipotético de uso generalizado em todas as edificações residenciais existentes – casas e edifícios.

Os resultados indicaram, para o município de Belo Horizonte, um potencial de economia de água (em 10^6 m³/ano), na ordem de 23,4 para aproveitamento de água de chuva, 29,6 para o uso de aparelhos hidráulicos economizadores e 18,8 para a medição individualizada em edifícios. Tais valores correspondem, em relação ao consumo total domiciliar médio de água

potável em Belo Horizonte – $120 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ –, a 19,5%, 24,7% e 15,7%, respectivamente, para os referidos dispositivos economizadores. Verificou-se que tais alternativas podem ser levadas em consideração no estabelecimento de políticas públicas relacionadas à redução do consumo de água potável em áreas urbanas.

Um importante aspecto é quanto à possibilidade de transferência da metodologia ora proposta para outras regiões urbanas, sendo requerida uma base de dados cadastrais de qualidade, dentre os quais podem ser indicados:

- A disponibilidade de dados censitários, que contemplem informações básicas quanto à população residente na região e perfil socioeconômico;
- O estabelecimento de uma adequada correlação entre os projetos-padrão estudados e a distribuição das edificações existentes, de acordo com seus padrões construtivos, áreas – de cobertura (para captação de água de chuva), áreas internas e externas a serem lavadas, além de jardins e áreas verdes a serem irrigados.

No tocante aos sistemas de aproveitamento de água de chuva, o perfil pluviométrico em Belo Horizonte apresenta período predominantemente seco ao longo dos meses de abril a outubro, sendo que os demais meses apresentam-se bastante chuvosos, ou seja, o volume total de chuva, apesar de elevado, concentra-se em alguns meses, fato que acarreta: (i) a uma baixa produtividade dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, com baixos percentuais de economia de água potável, reduzindo sua atratividade financeira, sobretudo nos meses predominantemente secos; (ii) elevados níveis de extravasamento de água de chuva, o qual é destinada ao sistema público de drenagem, nos meses chuvosos. Verificou-se, por meio de simulações realizadas para o contexto pluviométrico no município de Porto Alegre, utilizando-se série histórica de 25 anos de precipitações caracterizadas por maior constância nos níveis de chuvas ao longo do ano, que há uma redução substancial nos níveis extravasados de água de chuva, mantendo-se percentuais satisfatórios de economia de água potável ao longo do ano.

Observou-se, na análise dos resultados financeiros realizados sob a ótica do investidor privado para os sistemas de aproveitamento de água de chuva, que o retorno do investimento (*payback*) é elevado ou inexistente ao longo do prazo de análise do projeto (20 anos), sobretudo para edificações com pequenas áreas de cobertura, normalmente associadas a classes socioeconômicas baixas. Para edificações com maior área de cobertura, normalmente associadas a classes socioeconômicas elevadas, verificou-se melhor atratividade financeira.

Tal fato ocorre devido aos custos de implantação e da sazonalidade das chuvas, que acarretam em inconstância nos benefícios financeiros. Desta forma, é proposto, como indicativo em termos de implantação de políticas públicas, a priorização das edificações associadas às classes socioeconômicas mais elevadas, que são as maiores consumidoras de água potável.

Neste sentido, não obstante o foco da presente pesquisa convergir para a tipologia de edificações residenciais, aponta-se a relevância das grandes áreas de cobertura para os sistemas de aproveitamento de água de chuva, como os edifícios escolares, institucionais, comerciais e industriais, quanto ao potencial de economia de água potável e redução das vazões de pico sobre as redes de drenagem pluvial.

As análises financeiras correspondentes ao uso de aparelhos hidráulicos economizadores e medição individualizada em edifícios resultaram em menores períodos de retorno do investimento (*payback*), se comparados à implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva, tendo em vista, além dos menores custos de implantação, a não dependência das condições climáticas e constância dos benefícios financeiros decorrentes da redução do consumo de água.

É importante mencionar que o estudo não contemplou as perdas de água no sistema de distribuição de água, decorrentes de vazamentos e ligações clandestinas, por exemplo, além das perdas internas nas edificações residenciais, também relacionadas aos vazamentos.

Salienta-se que algumas incertezas metodológicas devem ser levadas em consideração, sobretudo no tocante aos aspectos:

- Número de moradores por domicílio, fator que, juntamente com a classe socioeconômica da família, está relacionado ao consumo domiciliar de água;
- Número de edificações residenciais existentes no município e correlação com os projetos-padrão, fator que interfere nas extrapolações do potencial de redução do consumo de água potável em escala municipal, em decorrência da implantação dos dispositivos economizadores. Salienta-se que o levantamento do número de edificações residenciais existentes é obtido junto ao cadastro técnico da prefeitura municipal;
- Estimativas de uso residencial de água não potável e padrões de consumo residencial de água potável e não potável. Neste caso, o uso dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, para os quais as demandas de água não potável estimadas dependem do usuário do sistema (modo de uso, manutenção, dentre outros);

- Parâmetros financeiros, sobretudo no que tange aos custos operacionais e de manutenção, bem como à fixação de índices de reajustes incidentes sobre os referidos custos;
- Variações climáticas, que interferem nas precipitações utilizadas nas simulações de sistemas de aproveitamento de água de chuva, ou seja, a adoção de séries históricas de precipitações, bem como a consideração de anos extremos – mais chuvosos e mais secos.

Podem ser feitas algumas recomendações para o desenvolvimento de outros trabalhos, podendo aplica-los ao contexto do município de Belo Horizonte:

- Realização de estudos complementares da relação entre a renda e demanda de água para Belo Horizonte e outras localidades, aplicando-se análises estatísticas, econométricas, dentre outras;
- Determinação do custo marginal referente à implantação de sistemas de abastecimento de água (captação, tratamento e distribuição) e comparação com o custo de implantação de dispositivos de redução do consumo de água potável em larga escala. Tal análise também pode ser desenvolvida para os sistemas de drenagem pluvial e o potencial de redução das vazões de pico devido à implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em domicílios e outros tipos de construções.
- Desenvolvimento de estudos de viabilidade econômica e financeira para subsidiar as propostas de políticas públicas, buscando justificar a possível hipótese: "É viável o investimento em medidas de conservação de água em edificações residenciais visando o adiamento (postergação) dos investimentos em sistemas centralizados de abastecimento?"
- Avaliação da possibilidade de determinar linhas de corte, ou seja, a partir de qual consumo de água, em litros/hab x dia, seria viável financeiramente a instalação do sistema de aproveitamento de água de chuva, podendo ser avaliada também a linha de corte em relação à área do telhado das edificações residenciais;
- Aprofundamento da análise do impacto do valor pago pelo uso de recursos hídricos incidente nas tarifas de água e, por consequência, sobre as análises financeiras, ressaltando-se os diferentes tipos de usuários e se a água é utilizada como insumo na cadeia produtiva;
- Realização de simulações dos dispositivos estudados a partir de instalações reais (projetos-piloto) de diferentes tipologias construtivas.

- Continuação dos estudos quanto às diretrizes para formulação de políticas públicas para pequenos e grandes consumidores residenciais, em função das classes socioeconômicas e características construtivas dos domicílios;

REFERÊNCIAS

- ABEP – Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa. *Critério de Classificação Econômica Brasil*. São Paulo. Disponível em: <http://www.abep.org/default.aspx?usaritem=arquivos&iditem=23>, acesso em 25/11/2012.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 12.721:2006 – *Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios*. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 15.527:2007 – *Aproveitamento de água de chuva de coberturas de áreas urbanas para fins não potáveis*. Rio de Janeiro, 2007.
- ANA – Agência Nacional de Águas. *Conservação e Reuso da Água em Edificações*. São Paulo: Sinduscon-SP, 2005. 151 p.
- ANA – Agência Nacional de Águas. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013*. Brasília: ANA, 2013. 434 p.
- ANNECCHINI, K. P. V. *Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)*. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- BAIRD, J. M., SUMMERS, R. e PLUMMER R. Cisterns and safe drinking water in Canada. *Canadian Water Resources Journal / Revue Canadienne des Ressources Hydriques*, 38(2), 121 – 134. 2013.
- BARRAQUE, B. Is individual metering socially sustainable? The case of multifamily housing in France. *Water Alternatives*, v. 4, n. 2, p. 223-244, 2011. Disponível em: <<http://goo.gl/O5TfYz>>. Acesso em: 15/07/2016.
- BARROS, F. G. N e AMIN, M. M. *Escassez de água: Geopolítica e valoração hídrica*. In: VIII Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Cuiabá, MS, 2009.
- BARTIK, T.; BINGHAM, R. Can economic development programs be evaluated? *Upjohn Institute for Employment Research*, 1995. (Working Paper, n. 95-29).
- BELMEZITI, A.; COUTARD, O.; de GOUELLO, B. A New Methodology for Evaluating Potential for Potable Water Savings (PPWS) by Using Rainwater Harvesting at the Urban Level: The Case of the Municipality of Colombes (Paris Region), *Water*, 2013, 5, 312-326.
- BELMEZITI, A.; COUTARD, O.; de GOUELLO, B. How much drinking water can be saved by using rainwater harvesting on a large urban area? Application to Paris Agglomeration. *Water Science and Technology*, 2014, (In Press, Uncorrected Proof, Available online 14 June 2014).
- BILLINGS, R. B.; JONES, C. V. *Forecasting Urban Water Demand*. 2. ed. Denver: American Water Works Association, 2008. 350 p.
- BONI, S. S. N. *Gestão de água em edificações: formulação de diretrizes para o reuso de água para fins não potáveis*. 241 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

- BRASIL. Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. *Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos*. 1997. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em 25/06/2016
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº. 518, de 25 de março de 2004. *Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. 2004. Disponível em <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/portaria_518_2004.pdf>. Acesso em: 15/10/2015.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. *Plano Nacional de Recursos Hídricos. Panorama e Estado dos Recursos Hídricos do Brasil*. v. 1, 2006.
- BRASIL. Lei nº 11.455 de 05 de janeiro de 2007. *Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico e dá outras providências*. 2007. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em 25/06/2016.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2011*. Brasília: SNSA / MCIDADES, 2013. 432 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013*. Brasília: SNSA / MCIDADES, 2014. 181 p.
- BRASIL. Lei nº 13.312 de 12 de julho de 2016. Altera a Lei n. 11.455 de 05 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, para tornar obrigatória a medição individualizada do consumo hídrico nas novas edificações condominiais. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13312.htm. Acesso em 13/07/2016.
- BULTO, T. S. *Muito familiar para ignorar, muito novo para reconhecer: a situação do direito humano à água em nível global*. In: *O direito à água como política pública na América Latina : uma exploração teórica e empírica*. CASTRO, J. E.; HELLER, L.; MORAIS, M. P. (Edit). Brasília: IPEA, 2015. 330 p.
- CARRAGHER, B. J.; STEWART, R. A.; BEAL, C. D. Quantifying the influence of residential water appliance efficiency on average day diurnal demand patterns at an end use level: A precursor to optimised water service infrastructure planning. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 62, n. 1, p. 81-90, Elsevier, 2012.
- CARDOSO. M. P. *Viabilidade do aproveitamento de água de chuva em zonas urbanas: estudo de caso do município de Belo Horizonte – MG*. Dissertação (mestrado em Saneamento). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte – MG, 2009.
- CARMO, R. L.; DAGNINO, R. S., FEITOSA, F. L., JOHANSEN, I. C. *População e consumo urbano de água no Brasil: interfaces e desafios*. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – Bento Gonçalves. 2013.
- CASAROTTO, F; KOPITKE, N. *Análise de investimentos*. 9 ed. São Paulo: Atlas, 2000. 464 p.

- CAVALCANTI, C. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. *Estudos Avançados*. Vol. 24. N. 68. São Paulo, 2010. Obtido em http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142010000100007&script=sci_arttext. Acesso em 01/09/2015.
- CHANDUVI, J. S. *Measuring inequality of opportunity in Latin America and the Caribbean*. Conference Edition. The World Bank. 2008. 170 p.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. *Applied Hydrology*. New York: McGraw Hill Int, 1988.
- CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL (CBCS). *Aspectos da Construção Sustentável no Brasil e Promoção de Políticas Públicas*. Brasília. 2014. 14 p.
- COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS (CBH – Velhas). *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas 2015: Resumo Executivo*. 233 p. Belo Horizonte, 2015.
- COELHO, A. C.; MAYNARD, J. C. *Medição individualizada de água em apartamentos*. Recife: Comunicarte. 1999.
- COELHO, A. C. *Medição de água individualizada – Manual do Condomínio*. Recife, Ed. do Autor, 2004. 174 p.
- COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. *Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios*. In: IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste – Salvador. 2008
- CONTADOR, C., *Projetos Sociais: avaliação e prática*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 375 p.
- COOK, S.; SHARMA, A.; GARDNER, T. Rainwater harvesting systems for urban developments. In: SHARMA, A. K.; BEGBIE, D. e GARDNER T. *Rainwater Tank Systems for Urban Water Supply*. Londres: IWA Publishing. Pág. 1-18. 2015.
- COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais. *Relatórios Operacionais*. Belo Horizonte, 2013.
- DALY, H.E. *Towards an environmental economics*. *Land Economics* 67 (2), p. 255 – 259. 1991.
- DALY, H. *Ecological Economics and Sustainable Development*, Cheltenham, UK e Northampton, USA: Edward Elgar). 2007.
- DANTAS, C. T. *Análise dos custos de implementação do sistema de medição individualizada em edifícios residenciais multifamiliares*. 123 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2003.
- DAVIS, R.; HIRJI, H. *Water Resources and environment: Water Conservation Urban Utilities*. Washington, DC. Serial Editors. Technical Note FI, The World Bank. 2003. 29 p.
- DEFRA (2008). *Future water: The Government's Water Strategy for England*. Disponível em: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69346/pb13562-future-water-080204.pdf. Acesso em 20/03/2014. 98 p

- DEOREO, W. D. *The end uses of hot water in single family homes from flow trace analysis*. Acquacraft Inc. Report, 2000.
- DEOREO, W. D. The role of water conservation in a long range drought plan. *Journal of American Water Works Association*, V. 98, n. 2, p 94-101, 2006.
- DEOREO, W.; D., MAYER, P. W. *Insights into declining single-family residential water demands*. Journal of American Water Works Association. 2012.
- DIAS, D. M. *Avaliação do impacto da renda sobre o consumo hidrometrado de águas em domicílios residenciais urbanos: um estudo de caso para regiões de Belo Horizonte*. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.
- DIAS, D. M.; MARTINEZ C. B.; LIBÂNIO, M. Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 155-166, 2010.
- DIAS, D. M. *O impacto da renda domiciliar sobre a demanda de água, de energia elétrica e a geração de resíduos sólidos em centros urbanos: uma modelagem a partir de cenários socioeconômicos conjunturais*. 220 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- DIAS, D. M.; CHAIB, E.; LIBÂNIO, M.; MARTINEZ, C.; NASCIMENTO, N. *Economic Influence on Household Water Consumption in Metropolitan Area, a Reference for Water Saving Policies*. In: 13^o International Conference on Urban Drainage. Malaysia, 2014.
- DOMENECH, L.; SAURÍ, D. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal Of Cleaner Production, Barcelona*, p. 598-608. 15 nov. 2011.
- DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação das técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, V. 15, p. 59 – 68, Abr/Jun 2010.
- DORNELLES, F. *Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial*. 138 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- DUQUESNOY, S. *Evaluation de la possibilité de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie pour une école de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brésil*. Paris. Ecole des Ponts Paris Tech, 2009.
- ENRÍQUEZ, M. A. R. O custo de oportunidade dos recursos naturais não-renováveis em um mundo cheio, na perspectiva de Herman Daly. *EcoEco* – Ed. 19. 2008. Obtido em http://www.ecoeco.org.br/backup/conteudo/publicacoes/boletim_ecoeco/Boletim_Ecoeco_n019.pdf. Acesso em 01/09/2015.
- FARAHBAKHS K.; DESPINS C.; LEIDL C. (2009). Developing capacity for large scale rainwater harvesting in Canada. *Water Quality Resources Journal of Canada*, 44(1), 92-102.

- FARIA, D. C. P. *Avaliação contingente em projetos de abastecimento de água* - Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento. IPEA, 1995. 122 p.
- FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach. *Urban Water*, v. 1, n. 4, p. 323-333, 1999, obtido em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462075800000261>. Acesso em 17/06/2014.
- FISCHER-JEFFES, L. N. *The viability of Rainwater and stormwater harvesting in the residential areas of the Liesbeek River Catchment, Cap Town*. 340 f. Tese (Doutorado) - Department of Civil Engineering, University of Cape Town, Cape Town, 2015.
- FORGIARINI, F. R.; GIRARD, R. V., REIS, J. T., SILVEIRA, A L. Integração entre a educação ambiental e a cobrança pelo uso da água como meio de racionalização do consumo. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p.17-28, jan. 2010.
- FRIEDMAN, K.; HEANEY, J.; MORALES, M.; PALENCHAR, J. Water demand management optimization methodology. *American Water Works Association*. p. 74 – 84. 2011.
- GARDNER T.; BEGBIE D.; SHARMA. A. K.; TJANDRAATMADJA G. Rainwater tanks in Australia: Their social/political context, a research overview, policy implications, future research needs, and application of findings to other countries. In: SHARMA, A. K.; BEGBIE, D.; GARDNER T. *Rainwater Tank Systems for Urban Water Supply*. Londres: IWA Publishing. Pág. 319-338. 2015.
- GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R.W. Potential for potable water savings by using rainwater: an analysis over 62 cities in southern Brazil. *Building and Environment*. Vol. 41, p. 204-210, 2006.
- GHISI, E.; BRESSAN, D. L.; MARTINI, M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Building and Environment*. V. 42, p. 1654-1666, 2007a.
- GHISI, E.; OLIVEIRA, S. M. Potencial for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. *Building and Environment*. V. 42, p. 1731-1742, 2007b.
- GHISI, E.; CARDOSO, K. A.; RUPP, R. F. Short-term versus long-term rainfall time series in the assessment of potable water savings by using rainwater in houses. *Journal of Environmental Management*. V. 100, p. 109 a 119, 2012.
- GHISI, E.; CORDOVA, M. M. *Netuno 4. Programa computacional*. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. 2014.
- GNADLINGER, J. *Estratégias para uma legislação favorável à captação e manejo de água da chuva no Brasil*. In: *Anais do V Simpósio Brasileiro de Captação e Armazenamento de Água de Chuva*, Petrolina, 2005.
- GOMES, H. P. *Eficiência hidráulica e energética em saneamento: análise econômica de projetos*. Editora Universitária. Universidade Federal da Paraíba – UFPB: João Pessoa, 2009. 2ª edição. 145 p.

- GOMES, J.; WEBER, D. C.; DELONG, C. M. Dimensionamento de Reservatórios de Armazenamento de Águas Pluviais, usando um Critério Financeiro. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, p. 89-100, jan. 2010.
- GOMES, U. F., *Água em situação de escassez: água de chuva para quem?* 2012. 369 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- GOMES, U. F.; DOMENECH, L.; PENA, J. L.; HELLER, L.; PALMIER, L. R. A Captação de Água de Chuva no Brasil: Novos Aportes a Partir de um Olhar Internacional. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 19, n. 1, p.7-16, jan. 2014.
- GONÇALVES, R. F. (Coord.). *Uso racional da água em edificações*. Rio de Janeiro: ABES. 2006. 332 p
- GONÇALVES, O. M. *Manual de Conservação de Água. Programa de Conservação de Águas. Empreendimento Genesis - Takaoka*. São Paulo, 2007. 50 p.
- GONÇALVES, R. F. (Coord.). *Racionalização do uso de água e conservação de energia em sistemas de abastecimento públicos e em edificações, por meio de redução no consumo, reaproveitamento de fontes alternativas e outras formas de uso racional da água*. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 2009. 352 p.
- GRIFFIN, R. C. *Water Resource Economics – The Analysis of Scarcity, Policies and Projects*. 1.ed. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2005. 496 p.
- GUEDES, M. J.; RIBEIRO, M. M.; VIEIRA, Z. M. Alternativas de Gerenciamento da Demanda de Água na Escala de uma Cidade. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 2, n. 19, p.123-134, jun. 2014.
- HERMANN, T.; SCHMIDA, U. *Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects*. *Urban Water*, 1, 307-316. 1999.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo demográfico de 2010*. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home>> Acesso em 06/08/2013.
- ILHA, M. O.; OLIVEIRA, L. H.; GONÇALVES, O. M. Sistemas de medição individualizada de água: como determinar as vazões de projeto para a especificação dos hidrômetros. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Campinas, v. 2, n. 15, p.177-186, jun. 2010.
- JANN, W.; WEGRICH, K. *Theories of the policy cycle*. In: FISCHER, F.; MILLER, G.; SIDNEY, M. (Ed.). *Handbook of public policy analysis*. New York: CRC Press, 2007.
- JENKINS, D.; PEARSON, F.; MOORE, E.; SUN, J. K.; VALENTINE, R. *Feasibility of rainwater collection systems in California*. Contribution n. 173. Davis: Californian Water Resources Centre, University of California, 1978.
- KALBUSCH, A. *Método para Avaliação do Impacto Ambiental da Substituição de Equipamentos Convencionais por equipamentos Economizadores de Água a partir da Avaliação do Ciclo de Vida*. 2011. 242 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

- LALLANA, C.; MARCUELLO, C. Indicator Fact Sheet. (WQ01c) Water exploitation index. In: *European Environment Agency*. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/water-exploitation-index>>. Acesso em: 07/07/2016.
- LI X; XIE Z; YAN, X. Runoff characteristics of artificial catchment materials for rainwater harvesting in the semiarid regions of China. *Agricultural Water Management*, 65(3), 211-224. 2004.
- LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems or domestic application in Ireland. In: N. Hilal, ed. *Desalination*. Sq: Elsevier, 2010. p.1-8.
- LIBÂNIO, P. A. C. *Avaliação qualitativa do modelo de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos: Interfaces com o Sistema Ambiental e com o Setor de Saneamento*. 318 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- MARENGO, J. A. Água e mudanças Climáticas. In: *Estudos Avançados*. Print version ISSN 0103-4014 On-line version ISSN 1806-9592. Vol. 22, n. 63. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200006>. São Paulo. 2008
- MARQUES J. A. F., SILVA, S. R. Projeto de medição individualizada de água para os apartamentos dos prédios padrão popular, das comunidades de Cajazeiras e Fazenda Grande – Salvador. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2007.
- MARTINES-ALIER, J. Idiomas da Valoração. *Boletim EcoEco* – Ed. 19. 2008. Obtido em: http://www.ecoeco.org.br/backup/conteudo/publicacoes/boletim_ecoeco/Boletim_Ecoeco_n019.pdf. Acesso em 01/09/2015.
- MASJUAN, E.; MARCH, H.; DOMENE, E.; SAURI, D. Conflicts and struggles over urban water cycles: the case of Barcelona 1880–2004. *Journal of Economic and Social Geography*, Barcelona, p. 426-439. 2008.
- MAY, S. *Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações*. 2009. 222 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- MAYER. P. W.; DEOREO, A.; DIETEMANN. E. Residential Efficiency: *The Impact of Complete Indoor Retrofits*. In: AWWA Annual Conference Proceedings, Washington, 2001.
- MEDIONDO, E. M.; MARTINS, E. S.; BERTONI, J. C. *Gestão de incertezas hidrológicas no auxílio às políticas hídricas para o manejo integrado de bacias*. In: XIX Congresso Nacional del Água, Córdoba, Argentina – Anales – 13 a 16 de agosto de 2002.
- MENDEZ C. B.; KLENZENDORF J. B.; AFSHAR B. R.; SIMMONS, M. T.; BARRETT M. E.; KINNEY K. A.; KIRISITS M. J. (2011). The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Research*, 45(5), 2049-2059.
- MERCEDES, S.S.P. *Análise comparativa dos serviços públicos de eletricidade e saneamento básico no Brasil: ajustes liberais e desenvolvimento*. 2005. 505 p. Tese (doutorado em Energia) – Escola Politécnica/Faculdade de Economia e Administração/Instituto de Eletrotécnica e Energia/Instituto de Física, São Paulo, 2002.
- MICHAELIS. *Moderno Dicionário da Língua Portuguesa*. Editora Melhoramentos. 2016.

- MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I.; SILVA, M. C.; RODRIGUES, L. D. B. Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. *Revista de Gestão de Águas da América Latina*, v. 4, p. 29-37, 2007.
- MINAS GERAIS. Lei nº 13.199 de 29 de janeiro de 1999. *Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências*. 1999. Disponível em <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5309>. Acesso em 25/06/2016.
- MITCHELL, V.G. Applying Integrated Urban Water Management Concepts: A Review of Australian Experience. *Environmental Management*, 2007.
- MONTORO FILHO, A. F. *Manual de Economia*. 3. Edição. São Paulo: Saraiva, cap. 5. P. 109-141. 1998.
- MORUZZI, R. B.; CARVALHO, G.; OLIVEIRA, C. Procedimentos para o dimensionamento de reservatório de água pluvial para residências unifamiliares: viabilidade e aprimoramento metodológico. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, v. 19, n. 0, p.89-99, 2012.
- MURÇA, M. C. R.; De JULIO, M.; MORUZZI, R. B. Metodologia de Otimização para o Dimensionamento de Reservatórios de Águas Pluviais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 19, p.29-40, jun. 2014.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. 1. Ed. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.
- NASCIMENTO, N. O.; BAPTISTA, M. B.; CORDEIRO NETTO, O. *Sustainable Development of Water Resources in the Context of a Developing Country – the case of Brazil*. In: International Conference on Water Resources & Environmental Research, Vol. II, p. 627 a 634, Kyoto, 1996.
- NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, Tecnologia e Inovação na Interface entre as Áreas de Recursos Hídricos e Saneamento. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 1, p. 36-48, jan-mar, Belo Horizonte, 2005.
- OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development). *Use of discount rates in the estimation of the costs of inaction with respect to selected environmental concerns*. OECD papers, vol. 7. 2007
- OECD (Organization for Economic Co-Operation and Development). *Managing Water for All: OECD Perspective on Pricing and Financing*, OECD, Paris. 2009. 141 p.
- OLIVEIRA, L. H. *Metodologia para implantação de programa de uso racional da água em edifícios*. São Paulo, 1999. 18p.
- OLIVEIRA, H. S. *Regulação econômico-financeira: o caso do Estado de São Paulo*. Cooperação Técnica BID/ARSESP Nº ATN/11771/OC-BR – São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2013. 338 p.
- OLIVEIRA, E. F. C.; PERES, L. A Economia Gerada pelo Uso Integrado da Medição Individualizada de Água e o Aproveitamento de água da Chuva em Prédio residencial. In. XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Campo Grande, 2009.
- PAIVA, C. Á. N. *Noções de economia*. Brasília: Fundação Alexandre de Gusmão, 2008. 452 p., disponível em http://funag.gov.br/loja/download/411-Manual_de_Economia.pdf.

- PALLA A., GNECCO I., LANZA L. G. (2011). Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. *Journal of Hydrology*, 40 (1-2), 65-76.
- PEARCE, D. W.; WARFORD, J. J. *World Without End: economics, environment and sustainable development*. Oxford: Oxford University Press. 1993. 440 p.
- PERES, A. R. B e OLIVEIRA, L. H. Avaliação Durante Operação de Sistemas de Medição Individualizada de Água em Edifícios Residenciais. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). Florianópolis. 23 a 25 de agosto de 2006.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE (PMBH). *Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte – 2012/2015 – Atualização 2014*.
- PRODABEL – Empresa de Processamento de Dados de Belo Horizonte. Acervo eletrônico interno, Belo Horizonte, 2013.
- REIBER, M. *Social-Economic influences on the rainfall harvesting potential on large-city scale: assessments for the municipality of Belo Horizonte, Brazil*. Master thesis. 112 f. Universidade de Munique e Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- RESENDE, G. M. *Avaliação de políticas Públicas no Brasil: Uma análise de seus impactos regionais*. Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA). Rio de Janeiro. 2014. 242 p.
- RIBEIRO, A. K. M. *Método para avaliação do impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em residências unifamiliares a partir da análise do ciclo de vida*. Florianópolis, 2015. 276 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- RIBEIRO, M. M. R.; BRAGA, C. F. C. Consenso como medida de sustentabilidade no gerenciamento da demanda de água. In: LIRA, W; LIRA, H; SANTOS, M. J.; ARAÚJO, L. E. (Org.). *Sustentabilidade: um enfoque sistêmico*. Campina Grande: EDUEP. 2008. Ver Sharma e Vairavmoorth
- ROCHA, V. L. *Validação de um algoritmo para avaliação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações*. 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.
- RODRIGUES, L. C. S. *Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória – ES*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- ROEBUCK, R. M.; ASHLEY, R. M. *Predicting the hydraulic and life-cycle cost performance of rainwater harvesting systems using a computer based modeling tool*. In: International Conference on Urban Drainage Modelling, 7th, Australia, 2006.
- ROEBUCK, R. M.; OLTEAN-DUMBRAVA, C.; TAIT, S. Whole life cost performance of domestic rainwater harvesting systems in the United Kingdom. *Water and Environment Journal*. Vol. 25, p. 355 – 365, 2011.

- ROSSONI, H., A. V. *Fatores condicionantes da presença de diferentes modelos de prestação de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil; Uma análise quantitativa*. 2015. 288 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- SANT'ANNA, D. R. *A socio-technical study of water consumption and water conservation in Brazilian dwellings*. Tese (Doutorado). 402 f. Oxford Institute for Sustainable Development School of the Built Environment. Oxford, 2011.
- SCHUETZE, T. Rainwater harvesting and management-policy and regulations in Germany. *Water science and Technology, Water Supply*, 13, 376-385. 2013.
- SHARMA, A. K.; GRAY, S.; DIAPER, C.; LISTON, P.; HOWE, C. Assessing integrated Water Management Options for Urban Developments – Canberra Case Study. *Urban Water Journal*, Vol. 5, N. 2, 147-159, Canberra, 2008.
- SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, L. Urban Water Management: Prospects and Challenges for the Developing Countries. *Water and Environmental Journal*, n. 23. P. 210 – 218, 2009.
- SINAPI, 2014. *Custo de Composições – Sintético*. Belo Horizonte. http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/SINAPI.. Acesso em 01/05/2014.
- SINDICATO DAS EMPRESAS DE COMPRA, VENDA, LOCAÇÃO E ADMINISTRAÇÃO DE IMÓVEIS RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE SÃO PAULO (SECOVI). *Manual do Uso Racional da Água*. Secovi. São Paulo, 2005. 25 p.
- SILVA, S. R. S.; COHIM, E. *Medição Individualizada de Água em Prédios de Apartamentos de Padrão Popular em Salvador*. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 2007.
- SILVA N. R. *Estudo de Metodologias para Avaliação de Submedição de Hidrômetros Domiciliares em Sistemas de Água*. Dissertação (Mestrado). Universidade de Brasília, 131 p. Brasília. 2008.
- SOUZA FILHO, A.F., CAVALCANTI, D.J.H, BARBOSA, M.G., PEDROSA, V.A; *A hidrometração individualizada como disciplinador de consumo: ABES*. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental, Campo Grande, MS. I - 237, V. dez 2005.
- SOUZA, L. A. F. *Algoritmo para determinar o volume mínimo do reservatório de água de chuva*. In: X Encontro Nacional de Águas Urbanas (ENAU). São Paulo, SP. 2014.
- TAMAKI, H. O. *A medição setorizada como instrumento de gestão de demanda de água em sistemas prediais – Estudo de casos: Programa de uso racional da água da Universidade de São Paulo*. São Paulo, 2003. 151 f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- TERPSTRA, P. J. M. Sustainable water usage systems – models for the sustainable utilization of domestic water in urban areas. *Water Science & Technology*. Vol 39, p. 65, 1999.
- TCPO, *Tabelas de Composição de Preços para Orçamentos*. 13. Ed. São Paulo: Pini, 2010.

- TOMAZ, P. *Previsão de consumo de água: Interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos*. 4ª Ed. Editora Navegar. São Paulo. 2011a. 250 p.
- TOMAZ, P. *Aproveitamento de água da chuva: aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis*. Editora Navegar. São Paulo. 2011b. 182 p.
- THOMPSON, A.; BRANDÃO, A.; LOBÃO, W.; SILVA, S. Saneamento Urbano: a demanda residencial por água. *Revista Pesquisa Planejamento Econômico*, v. 25, n. 3, dezembro. Rio de Janeiro, 1995.
- THOMPSON, A. A.; LIMA, E. C. R. Relatório final do estudo da demanda residencial de água para o Projeto Vida no Vale. 2007.
- UNESCO. *Water: a shared responsibility. A United Nations World Water Development Report*. Berghahn Books Publishers. 2006. 584 p.
- VELOSO N. S. L. ; MENDES R. L. R. *Aspectos legais do uso da água da chuva no Brasil e a gestão dos recursos hídricos: notas teóricas*. XX Simpósio brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, 2013.
- VIEIRA, S. A. *Uso racional de água em habitações de interesse social como estratégia para a conservação de energia em Florianópolis*. 2012. 172 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- VIMIEIRO, G. V. *Educação Ambiental e Emprego de Equipamentos Economizadores na Redução do Consumo de Água em Residências de Famílias de Baixa Renda e em uma Escola de Ensino Fundamental*. 2005. 130 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.
- WARD S. L. *Rainwater harvesting in the UK: a strategic framework to enable transition from novel to mainstream*. PhD thesis, University of Exeter UK, 2010.
- WORLD BANK. *Investment Project Financing Economic Analysis – Guidance Note*. Operations Policy and Quality Department (OPSPQ). 2013. Disponível em http://siteresources.worldbank.org/PROJECTS/Resources/40940-1365611011935/Guidance_Note_Economic_Analysis.pdf. Acesso em 03/08/2016.
- WORLD BANK. *Diminuir o calor: Confrontando o novo padrão climático*. Disponível em <http://documents.worldbank.org/curated/en/271171468224410608/pdf/927040v10Portuguese000Executive0Summary.pdf>. 2014. Acesso em 01/12/2016.
- YAMADA, E. S.; PRADO, R. T. A.; IOSHIMOTO, E. *Os impactos do sistema individualizado de medição de água*. EPUSP, São Paulo, 2001. 17p.
- YWASHIMA, L. A.. *Avaliação do uso de água em edifícios escolares públicos e análise de viabilidade econômica da instalação de tecnologias economizadoras nos pontos de consumo*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2005.

ANEXOS

Anexo 1 – Projetos-padrão estabelecidos na NBR 12.721:2006

RPIQ – Residência unifamiliar popular (1 unid.): 1 pavimento, 1 dormitório, sala, banheiro e cozinha

R1-B – Residência unifamiliar padrão baixo (1 unid.): 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área tanque

R1-N – Residência unifamiliar padrão normal (1 unidade): 3 dormitórios, sendo uma suíte, banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda (abrigo p/ automóvel)

R1-A – Residência unifamiliar padrão alto (1 unid.): 4 dormitórios, sendo 1 suíte com banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha, área de serviço completa e varanda (abrigo para automóvel)

R1-X⁽²⁾ – Residência unifamiliar padrão alto (1 unid.): 2 pavimentos (parcial), 6 dormitórios, sendo 2 suítes com banheiro e closet, e outras 2 com banheiro, banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha, área de serviço completa, varanda e abrigo para automóveis

PIS – Residência multifamiliar – Projeto de interesse social (20 unid.): térreo e 4 pavtos-tipo. Pavto térreo: hall, escada, 4 apartamentos por andar, c/ 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço. Área externa: guarita, c/ banheiro. Pavto-tipo: hall, escada e 4 apart. por andar, c/ 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço.

PP-B – Residência multifamiliar – prédio popular padrão baixo (16 unid.): Térreo e 3pavtos-tipo. Pavto térreo: hall de entrada, escada e 4 apartamentos por andar com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço. Pavto-tipo: hall, escada e 4 apartamentos por andar c/ 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço. Área externa: cômodo de lixo, guarita, central de gás, depósito c/ banheiro, 16 vagas.

PP-N – Residência multifamiliar – prédio popular – padrão normal (16 unid.): pilotis e 4 pavtos-tipo. Pilotis: Escada, elevador, 32 vagas de garagem cobertas, cômodo de lixo, depósito, hall de entrada, salão de festas, copa, 3 banheiros, central de gás e guarita. Pavto-tipo: hall, escada, elevadores e 4 apartamentos por andar, com 3 dormitórios, sendo 1 suíte, sala de estar / jantar, banheiro social, cozinha, área serviço e varanda.

R8-B – Residência multifamiliar – padrão baixo (32 unid.): Térreo e 7pavtos-tipo. Pavto térreo: hall de entrada, elevador, escada e 4 apartamentos por andar, com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque. Área externa: cômodo de lixo e 32 vagas descobertas. Pavto-tipo: hall, escada e 4 apartamentos por andar, com 2 dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque.

R8-N – Residência multifamiliar – padrão normal (32 unid.): garagem, pilotis e oito pavtos-tipo. Garagem: Escada, elevadores, 64 vagas cobertas, depósitos de lixo e instalação sanitária. Pilotis: Escada, elevadores, hall, salão de festas, copa, 2 banheiros, central de gás e guarita. Pavimento-tipo: hall, escada, elevadores e 4 aptos por andar, com 3 dormitórios, sendo 1 suíte, sala de estar / jantar, banh. social, cozinha, área serviço e varanda.

R8-A – Residência multifamiliar – padrão alto (16 unid.): garagem, pilotis e oito pavtos-tipo. Garagem: Escada, elevadores, 48 vagas de garagem cobertas, cômodo lixo, depósito e instalação sanitária. Pilotis: Escada, elevadores, hall, salão de festas, salão jogos, copa, 2 banheiros, central de gás e guarita. Pavto-tipo: hall, escada, elevadores e 2 apartamentos por andar, com 4 dormitórios, sendo uma suíte com banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, salas de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha, área de serviço completa e varanda.

R8-X⁽²⁾ – Residência multifamiliar – padrão alto (32 unid.): garagem, pilotis e oito pavtos-tipo. Garagem: Escada, elevadores, 64 vagas cobertas de garagem, depósitos de lixo e instalação sanitária. Pilotis: Escada, elevadores, hall, salão de festas, copa, 2 banheiros, central de gás e guarita. Pavto-tipo: hall, escada, elevadores e 8 aptos por andar, com 3 dormitórios, sendo 1 suíte, sala de estar / jantar, banheiro social, cozinha, área de serviço e varanda

R8-Y⁽²⁾ – Residência multifamiliar – padrão normal (64 unid.): garagem, pilotis e oito pavtos-tipo. Garagem: Escada, elevadores, 128 vagas cobertas de garagem, depósitos de lixo e inst. sanitária. Pilotis: Escada, elevadores, hall, salão de festas, copa, 2 banheiros, central de gás e guarita. Pavto-tipo: hall, escada, elevadores e 16 aptos por andar, com 3 dormitórios, 1 suíte, sala de estar/jantar, banheiro social, cozinha, área de serviço e varanda.

R16-N – Residência multifamiliar – padrão normal (64 unid.): Garagem, pilotis e 16 pavtos-tipo. Garagem: Escada, elevadores, 64 vagas de garagem, cômodo de lixo, depósito e lavabo. Pilotis: Escada, elevadores, hall, salão de festas, copa, 2 banheiros, central de gás e guarita. Pavto-tipo: hall, escada, elevadores e 4 aptos por andar, com 3 dormit, 1 suíte, sala de estar / jantar, banh. social, cozinha, área serviço e varanda.

R16-A – Residência multifamiliar – padrão alto (32 unid.): Garagem, pilotis e 16 pavtos-tipo. Garagem: Escada, elevadores, 96 vagas, cômodo lixo, depósito e instalação sanitária. Pilotis: Escada, elevadores, hall, salão de festas, salão de jogos, copa, 2 banheiros, central de gás e guarita. Pavtos-tipo: Hall, escada, elevadores e 2 aptos por andar, com 4 dormitórios, 1 suíte c/ banheiro e closet, outro com banheiro, banheiro social, salas de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda.

(1) Projetos-padrão contemplados pela NBR 12.721:2006, excetuando R1-X, R8-X e R8-Y (elaboração própria).

| Projetos-Padrão ⁽¹⁾ | Número de pavimentos e de unidades residenciais | Áreas dos projetos-padrão (m ²) ⁽¹⁾ | | | | | | | | | Altura do edifício (m) |
|---|---|--|---------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------|----------------|---------------------|-------------|------------------------|
| | | Total de construção | Lote ⁽²⁾ | Coberta (telhado) ⁽³⁾ | Unidade residencial ⁽⁴⁾ | Internas (privativas) | | | Externas (comuns) | | |
| | | | | | | Banheiros | Cozinha e área de serviço | Demais cômodos | Permeável (jardins) | Impermeável | |
| Projetos-Padrão Unifamiliares (total: 5) | | | | | | | | | | | |
| RP1Q | 1 pav. / 1 unid. | 39,56 | 80,00 | 39,56 | 39,56 | 2,53 | 5,72 | 29,59 | 11,87 | 8,57 | 3,0 |
| R1-B | 1 pav. / 1 unid. | 58,64 | 80,00 | 58,64 | 58,64 | 2,53 | 7,52 | 30,32 | 17,60 | 3,76 | 3,0 |
| R1-N | 1 pav. / 1 unid. | 106,44 | 150,00 | 106,44 | 106,44 | 8,33 | 12,85 | 75,76 | 31,90 | 11,66 | 3,0 |
| R1-A | 1 pav. / 1 unid. | 224,82 | 320,00 | 224,82 | 224,82 | 15,85 | 18,71 | 161,29 | 67,45 | 27,73 | 3,0 |
| R1-X | 1 pav. / 1 unid. | 450,00 | 600,00 | 450,00 | 450,00 | 38,50 | 29,00 | 365,00 | 95,00 | 55,00 | 6,0 |
| Projetos-Padrão Multifamiliares (total: 10) | | | | | | | | | | | |
| PIS | 5 pav. / 20 unid. | 991,45 | 538,00 | 198,29 | 43,32 | 2,65 | 6,35 | 28,32 | 59,50 | 622,21 | 14,0 |
| PP-B | 4 pav./ 16 unid. | 1.415,07 | 538,00 | 218,09 | 48,04 | 2,65 | 7,23 | 31,65 | 60,75 | 558,11 | 11,0 |
| PP-N | 5 pav. / 16 unid. | 2.590,35 | 717,00 | 348,81 | 77,70 | 7,81 | 11,67 | 47,57 | 81,50 | 301,23 | 14,0 |
| R8-B | 9 pav. / 32 unid. | 2.801,64 | 757,00 | 220,34 | 48,04 | 2,65 | 7,23 | 31,65 | 41,80 | 892,77 | 22,0 |
| R8-N | 10 pav. / 32 unid. | 5.998,73 | 1.152,00 | 348,81 | 77,70 | 7,81 | 11,67 | 47,57 | 65,00 | 1.359,39 | 25,0 |
| R8-A | 11 pav. / 16 unid. | 5.917,79 | 915,00 | 371,06 | 171,02 | 19,53 | 17,09 | 109,10 | 65,00 | 951,40 | 28,0 |
| R8-X | 11 pav. / 32 unid. | 9.500,00 | 2.310,00 | 750,00 | 171,02 | 19,53 | 17,09 | 109,10 | 65,00 | 2.197,00 | 28,0 |
| R8-Y | 9 pav. / 64 unid. | 12.600,00 | 2.310,00 | 1.400,00 | 77,70 | 7,81 | 11,67 | 47,57 | 65,00 | 2.140,00 | 25,0 |
| R16-N | 17 pav. / 64 unid. | 10.562,07 | 1.554,00 | 348,81 | 77,70 | 7,81 | 11,67 | 47,57 | 65,00 | 2.051,82 | 51,0 |
| R16-A | 17 pav. / 32 unid. | 10.461,85 | 2.310,00 | 371,06 | 171,02 | 19,53 | 17,09 | 109,10 | 65,00 | 1.761,40 | 51,0 |

(1) Projetos-padrão e áreas obtidos diretamente em ABNT (2006), exceto os projetos-padrão R1-X, R8-X e R8-Y (elaboração própria).

(2) Arbitradas para o cálculo das áreas externas (permeáveis e impermeáveis). Ressalva-se a possibilidade de uma mesma edificação ser construída em diferentes lotes e áreas.

(3) A ser utilizada nas simulações de cálculo de captação de água de chuva. Não serão consideradas as áreas cobertas no pilotis, térreo, estacionamentos, subsolos, etc.

(4) Área da casa (edificação unifamiliar) ou área privativa do apartamento (nos edifícios multifamiliares), conforme o tipo de projeto-padrão.

Anexo 2 – Resolução ARSAE-MG nº 49, de 11 de abril de 2014

TARIFAS APLICÁVEIS AOS USUÁRIOS (vigência de maio/14 a abril/2015)

Considerar apenas as colunas com correspondentes aos serviços prestados:

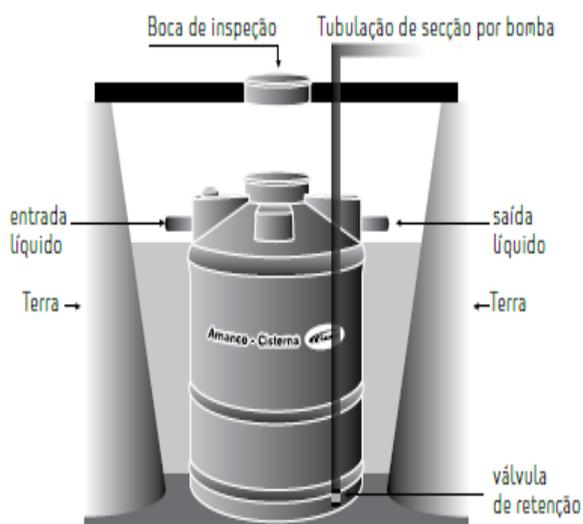
- Água: Abastecimento de água
- EDC: Esgotamento dinâmico com coleta
- EDT: Esgotamento dinâmico com coleta e tratamento

| Classe de consumo | Código tarifário | Intervalo de consumo (m ³) | Tarifas de aplicação (R\$) | | | |
|--|------------------------------|--|----------------------------|-------|--------|--------------------|
| | | | Água | EDC | EDT | Unidade |
| Residencial tarifa social (TS) até 10 m ³ | Res TS até 10 m ³ | 0 - 6 | 8,310 | 4,160 | 7,500 | R\$/mês |
| | | > 6 - 10 | 1,850 | 0,925 | 1,665 | R\$/m ³ |
| Residencial tarifa social (TS) maior que 10 m ³ | ResTS > 10 m ³ | 0 - 6 | 8,760 | 4,390 | 7,880 | R\$/mês |
| | | > 6 - 10 | 1,948 | 0,975 | 1,753 | R\$/m ³ |
| | | >10 - 15 | 4,262 | 2,131 | 3,835 | R\$/m ³ |
| | | >15 - 20 | 4,747 | 2,374 | 4,273 | R\$/m ³ |
| | | > 20 - 40 | 4,770 | 2,385 | 4,293 | R\$/m ³ |
| | | > 40 | 8,750 | 4,377 | 7,876 | R\$/m ³ |
| Residencial até 10 m ³ | Res até 10 m ³ | 0 - 6 | 13,860 | 6,930 | 12,500 | R\$/mês |
| | | > 6 - 10 | 2,313 | 1,156 | 2,081 | R\$/m ³ |
| Residencial maior que 10 m ³ | Res > 10 m ³ | 0 - 6 | 14,600 | 7,300 | 13,130 | R\$/mês |
| | | > 6 - 10 | 2,435 | 1,218 | 2,191 | R\$/m ³ |
| | | >10 - 15 | 4,735 | 2,368 | 4,262 | R\$/m ³ |
| | | >15 - 20 | 4,747 | 2,374 | 4,273 | R\$/m ³ |
| | | > 20 - 40 | 4,770 | 2,385 | 4,293 | R\$/m ³ |
| | | > 40 | 8,750 | 4,377 | 7,876 | R\$/m ³ |

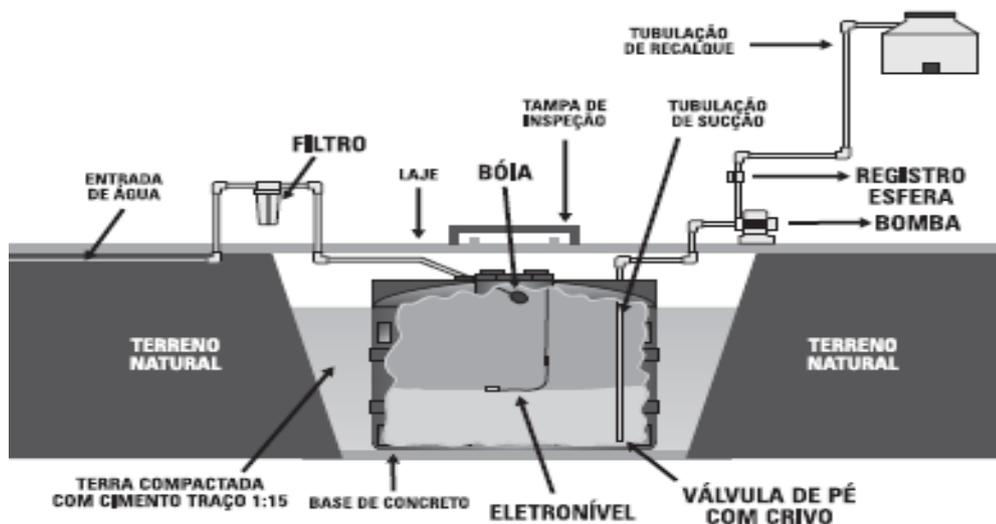
Anexo 3 – Tipos de reservatórios e acessórios utilizados em sistemas de aproveitamento de água de chuva



Reservatórios de fibra de vidro e de polietileno para instalação sobreposta ao solo



Reservatórios (cisternas) de polietileno para instalação no solo (enterrados)



Fonte: www.amanco.com.br; www.acqualimp.com.br; www.fortlev.com.br (acesso em 20/06/2014)



Filtros para tratamento da água da chuva e retirada de materiais sólidos para instalação:

(i) e (ii) no subsolo (iii) no tubo de queda



Dispositivos para descarte do escoamento inicial (“*first flush*”)



Acessórios para instalação junto ao reservatório inferior do sistema

Fonte: 3P TECHNIK (2005);

www.harvesting.com.br; www.agua-de-chuva.com/8-2-Produtos.html (acesso em 20/06/2014)

Anexo 4 – Tipos e especificações técnicas de equipamentos hidráulicos economizadores

CHUVEIROS E RESTRITORES, TORNEIRAS E AREJADORES COMPATÍVEIS

| | |  |  |  |  |  |  |  |
|--|---|---|---|---|--|---|---|---|
| CHUVEIROS | | 4266.061 8 litros/min | 4266.695 10 litros/min | 4266.062 14 litros/ min | 4266.059 16 litros/ min | 4266.778 9 litros/min | 4266.060 22 litros/min | 4266.875 12 litros/min |
|  | 1975.C MAX COM DESVIADOR E DUCHA MANUAL | X | X | X | X | X | X | X |
|  | 1977.C.CT MAX | X | X | X | X | X | X | X |
|  | 1973.VA.CT.KD KIDS | X | X | X | X | X | X | X |
|  | 1973.C.CT SPOT | X | X | X | X | X | X | X |
|  | 1970.C.CT CLEAN | X | X | X | X | X | X | X |

| | |  |  |  |  |
|---|--|---|---|---|---|
| TORNEIRAS | | 4224.012 1,8 litros/min Spray | 4224.013 3,6 litros/min Spray | 4224.010 4,5 litros/min Autolimpante | 4224.011 6 litros/min Antibactéria |
|  | 1175.C.TCH DECA TOUCH | X | X | X | X |
|  | 1171.C.TCH DECA TOUCH | X | X | X | X |
|  | 1187.C.HG/1187.C.HG.ONOF DECALUX SAVE/SAVE ON/OFF | | | | |
|  | 1188.C.HG/1188.C.HG.ONOF DECALUX SAVE/SAVE ON/OFF | | | | |
|  | 1186.C.SLX.HG DECALUX SAVE | | | | |
|  | 1186.C.SLX DECALUX | | | | |
|  | 1180.C DECALUX | X | X | X | X |
|  | 1183.C DECALUX | X | X | X | X |

Fonte: www.deca.com.br. Acesso em 15/11/2016

Caixa acoplada com segregação de urina



Sua função é conduzir a urina (águas amarelas) para um fim diferente daquele destinado às fezes e ao papel higiênico (águas negras). São dotados de dois compartimentos separados, duas saídas e uma válvula de descarga dual (descarga longa: 4 a 6 litros e descarga curta: 0,15 a 0,2 litros)

Fonte: <http://www.labeee.ufsc.br/~luis/ecv5644/apostilas/aparecon.pdf>. Acesso em 10/11/2016

Caixa acoplada de descarga de duplo acionamento



Duplo Acionamento de descarga para bacias sanitárias, com opção para 3 ou 6 litros. O dispositivo possibilita a utilização da água de acordo com a necessidade específica de cada uso, proporcionando uma economia de mais de 60% no consumo de água

Fonte: http://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/sistema-duplo-acionamento-para-bacias-sanitarias_1899_0_0. Acesso em 10/11/2016

Registro regulador de vazão – redução de até 40% no consumo



Registro regulador de vazão para chuveiro – redução de até 40% no consumo



Torneira de bancada para lavatório com arejador embutido – redução de até 70% no consumo



Chuveiro com arejador e restritor de vazão – redução de até 48% do consumo



Acabamento para registro de válvula de descarga com duplo acionamento – redução de até 60% do consumo



Misturador monocomando para bancada de cozinha com controle de vazão e arejador – redução de até 50%



Fonte: https://www.docol.com.br/pt/produtos_economizadores. Acesso em 10/11/2016

Anexo 5 – Fotos ilustrativas de diferentes tipos de instalações de medição individualizada

Condomínio com hidrômetros separados para cada bloco (edifício)



Hidrômetros individualizados no hall dos apartamentos



Condomínio com hidrômetros individualizados localizados junto ao barrilete e reservatório d'água



Condomínio com medição individualizada localizada no pavimento térreo



APÊNDICES

Apêndice 1 – Custos dos diferentes tipos de reservatório inferior

| Descrição do item e unidade | Custo do reservatório de concreto armado, enterrado no solo(R\$) | | | | | | | |
|---|--|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|---------------------------|-------|
| | Volume: 1 m ³ | | Volume: 3 m ³ | | Volume: 5 m ³ | | Volume: 10 m ³ | |
| | Sub-total | % | Sub-total | % | Sub-total | % | Sub-total | % |
| 1. Serviços iniciais (m ²) | 27,60 | 0,7 | 37,20 | 0,7 | 63,60 | 1,0 | 108,00 | 1,1 |
| 2. Escavação manual de solo (m ³) | 136,00 | 3,5 | 320,00 | 6,2 | 468,00 | 7,1 | 792,00 | 8,3 |
| 3. Lastro de brita (m ³) | 20,40 | 0,5 | 37,20 | 0,7 | 48,00 | 0,7 | 91,20 | 1,0 |
| 4. Lastro de concreto magro (m ³) | 9,50 | 0,2 | 17,10 | 0,3 | 22,79 | 0,3 | 42,74 | 0,5 |
| 5. Concreto estrutural (m ³) | 365,05 | 9,3 | 669,25 | 13,0 | 943,04 | 14,3 | 1.521,03 | 15,7 |
| 6. Aço CA-50 (kg) | 687,28 | 17,6 | 1.264,60 | 24,8 | 1.780,68 | 26,9 | 2.874,08 | 30,0 |
| 7. Forma de madeira (m ²) | 148,17 | 3,8 | 266,71 | 5,2 | 375,81 | 5,7 | 606,15 | 6,3 |
| 8. Impermeabilização (m ²) | 241,78 | 6,2 | 241,78 | 4,7 | 628,98 | 9,5 | 1.021,24 | 10,7 |
| 9. Serviços hidráulicos (verba) | 900,00 | 23,0 | 900,00 | 17,5 | 900,00 | 13,6 | 1.000,00 | 10,4 |
| 10. Serviços elétricos (verba) | 600,00 | 15,3 | 600,00 | 11,7 | 600,00 | 9,1 | 700,00 | 7,3 |
| 11. Diversos (verba) | 780,00 | 19,9 | 780,00 | 15,2 | 780,00 | 11,8 | 830,00 | 8,7 |
| Total | 3.915,78 | 100,0 | 5.133,84 | 100,0 | 6.610,90 | 100,0 | 9.586,44 | 100,0 |

| Descrição do item e unidade | Custo do reservatório de polietileno, enterrado no solo (R\$) | | | | | | | |
|---|---|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|---------------------------|-------|
| | Volume: 1 m ³ | | Volume: 3 m ³ | | Volume: 5 m ³ | | Volume: 10 m ³ | |
| | Sub-total | % | Sub-total | % | Sub-total | % | Sub-total | % |
| 1. Serviços iniciais (m ²) | 34,80 | 0,7 | 48,00 | 0,9 | 63,60 | 1,0 | 108,00 | 1,0 |
| 2. Escavação manual de solo (m ³) | 336,00 | 7,0 | 480,00 | 8,5 | 744,00 | 1,5 | 1.200,00 | 11,1 |
| 3. Concreto estrutural (m ³) | 28,49 | 0,6 | 28,49 | 0,5 | 47,49 | 0,7 | 47,49 | 0,4 |
| 4. Aço CA-50 (kg) | 62,48 | 1,3 | 62,48 | 1,10 | 124,96 | 1,9 | 124,96 | 1,2 |
| 5. Serviços hidráulicos (verba) | 2.950,00 | 61,8 | 3.680,00 | 64,8 | 4.110,00 | 63,6 | 7.830,00 | 72,2 |
| 6. Serviços elétricos (verba) | 590,00 | 12,3 | 590,00 | 10,4 | 590,00 | 9,1 | 690,00 | 6,4 |
| 7. Diversos (verba) | 780,00 | 16,3 | 780,00 | 13,8 | 780,00 | 12,1 | 830,00 | 7,7 |
| Total | 4.781,77 | 100,0 | 5.668,97 | 100,0 | 6.460,05 | 100,0 | 10.830,45 | 100,0 |

| Descrição do item e unidade | Custo do reservatório de polietileno, sobreposto ao solo (R\$) | | | | | | | |
|--|--|-------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|---------------------------|-------|
| | Volume: 1 m ³ | | Volume: 3 m ³ | | Volume: 5 m ³ | | Volume: 10 m ³ | |
| | Sub-total | % | Sub-total | % | Sub-total | % | Sub-total | % |
| 1. Serviços iniciais (m ²) | 18,00 | 0,7 | 31,20 | 1,0 | 43,20 | 1,0 | 69,60 | 1,0 |
| 2. Concreto estrutural (m ³) | 19,00 | 0,7 | 28,50 | 0,9 | 38,00 | 0,9 | 56,99 | 0,9 |
| 3. Aço CA-50 (kg) | 37,49 | 1,5 | 56,23 | 1,9 | 81,22 | 1,9 | 124,96 | 1,9 |
| 4. Serviços hidráulicos (verba) | 1.255,00 | 48,8 | 1.680,00 | 55,4 | 2.880,00 | 67,2 | 5.060,00 | 75,4 |
| 5. Serviços elétricos (verba) | 590,00 | 23,0 | 590,00 | 19,4 | 590,00 | 13,8 | 690,00 | 10,3 |
| 6. Diversos (verba) | 650,00 | 25,3 | 650,00 | 21,4 | 650,00 | 15,2 | 700,00 | 10,5 |
| Total | 2.569,48 | 100,0 | 3.035,93 | 100,0 | 4.282,42 | 100,0 | 6.701,55 | 100,0 |

Referência: maio / 2014

Custos unitários de insumos utilizados na composição de custos:

| Itens diversos | | | |
|---|-----------------|----------------------------|--|
| Item | Unidade | Custo (R\$) ⁽¹⁾ | |
| Bomba ½ cv | Unidade | 250,00 | |
| Aço CA-50 | Barra (Φ 3/8") | 30,00 | |
| Aço CA-50 | Barra (Φ 5/16") | 21,00 | |
| Aditivo impermeabilizante | Caixa (18 kg) | 50,00 | |
| Concreto fck 18 MPa (fabricado in loco, com betoneira) | m ³ | 305,00 | |
| Cimento | Saco de 50 kg | 22,00 | |
| Brita | m ³ | 38,00 | |
| Areia | m ³ | 70,00 | |
| Servente de obras | Hora | 10,00 | |
| Pedreiro | Hora | 20,00 | |

Reservatórios de água (instalação sobreposta ao solo)

| Volume (litros) | Material | Fabricante ⁽²⁾ | Custo (R\$) ⁽¹⁾ |
|--------------------|----------------|---------------------------|----------------------------|
| 250 ⁽³⁾ | Polietileno | Fortlev | 140,00 |
| 500 ⁽³⁾ | Polietileno | Fortlev | 175,00 |
| 1.000 | Polietileno | Fortlev | 275,00 |
| 2.000 | Polietileno | Fortlev | 698,00 |
| 5.000 | Polietileno | Fortlev | 1.900,00 |
| 10.000 | Fibra de vidro | Fortlev | 3.980,00 |
| 15.000 | Fibra de vidro | Fortlev | 6.500,00 |

Reservatórios de água tipo “cisterna” (instalação enterrada no solo)

| | | | |
|--------|-------------|-----------|----------|
| 2.100 | Polietileno | Amanco | 1.970,00 |
| 3.300 | Polietileno | Amanco | 2.700,00 |
| 5.000 | Polietileno | Acqualimp | 3.130,00 |
| 10.000 | Polietileno | Acqualimp | 6.750,00 |

(1) Referência: maio / 2014

(2) A identificação do fabricante refere-se à opção que apresentou menor custo.

(3) Considerados para instalação como “reservatório superior”, a partir do qual a água de chuva será conduzida aos pontos de consumo.

Apêndice 2 – Critério hidráulico para dimensionamento do reservatório

Conforme mencionado, o critério hidráulico de dimensionamento do reservatório inferior (determinação do volume “ótimo” ou volume “ideal”) utilizando-se o programa computacional Netuno (GHISI e CORDOVA, 2014) está baseada, dentre outros itens, na diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva (Δ_{ideal}), em %/m³. A seguir está descrito o detalhamento do critério, adaptado do manual do Netuno²³:

A escolha do volume ideal do reservatório inferior é feita através das equações 1, 2 e 3:

$$E_{pot} = 100 \times \sum_{i=1}^N \frac{V_c^i}{D_{tot}^i} \quad (1)$$

onde: E_{pot} =Potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial (%); V_c^i =Volume de água pluvial consumido no dia i (L); D_{tot}^i =Demanda total de água no dia i (L).

$$\rho_{pluv} = \frac{E_{pot}}{\rho_{subst}} \quad (2)$$

onde: ρ_{pluv} = Percentual de utilização de água pluvial (%); E_{pot} = Potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial (%); ρ_{subst} = Percentual da demanda total de água que pode ser suprida por água pluvial (%).

$$\frac{\Delta \rho_{pluv}}{\Delta V} \leq \Delta_{ideal} \quad (3)$$

onde: $\Delta \rho_{pluv}$ = Variação no percentual de utilização de água pluvial (%); ΔV = Variação no volume do reservatório inferior, em m³; Δ_{ideal} = Parâmetro definido pelo usuário do programa (diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial (%/m³)).

A equação (1) fornece um potencial de economia de água potável em relação à demanda total de água e a equação (2) tem como referência a demanda de água pluvial. Por exemplo, supondo que ρ_{subst} = 40% e E_{pot} = 35%, o valor de ρ_{pluv} será de 87,5%, ou seja, neste caso há água pluvial para atender a 87,5% da demanda por este tipo de água. A relação entre o volume

²³ Fonte: <http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/netuno>, acessado em setembro / 2014.

do reservatório inferior (RI) e o percentual de utilização de água pluvial tem, tipicamente, a aparência da Figura 1, assim como o potencial de economia de água potável.

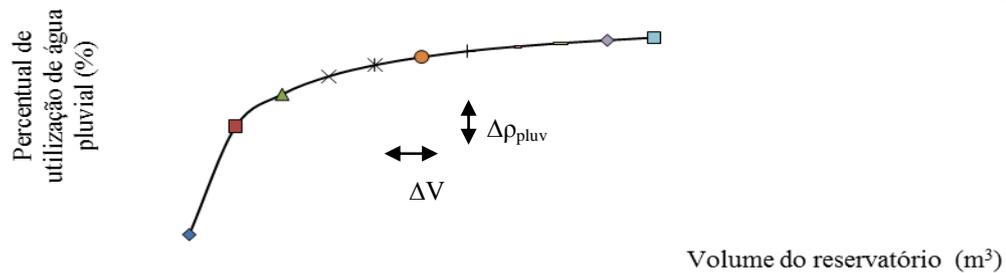


Figura 1 – Exemplo de variação do percentual de utilização de água pluvial

Como as simulações são realizadas em intervalos discretos (na Figura 1, a cada 1000 litros), tem-se que $\Delta\rho_{pluv} / \Delta V$ é constante em cada intervalo. O volume ideal para o RI é, então, definido através da equação 3. No caso de $\frac{\Delta\rho_{pluv}}{\Delta V} > \Delta_{ideal}$ em todo o intervalo de simulação definido pelo usuário, o volume ideal fica indeterminado.

Exemplo: Edificação residencial com área de cobertura de 39,56 m², habitada por 3 pessoas e com consumo total de 175 litros / hab x dia. Pretende-se economizar 40% do consumo total de água potável por meio de sua substituição por água de chuva. A diferença entre os potenciais de economia de água potável por meio de aproveitamento de água pluvial foi definida em 5%/m³. A Figura 2 indica a interface do programa com entrada de dados e a Figura 3, o gráfico fornecido pelo programa, que relaciona E_{pot} e o volume reservatório (m³).

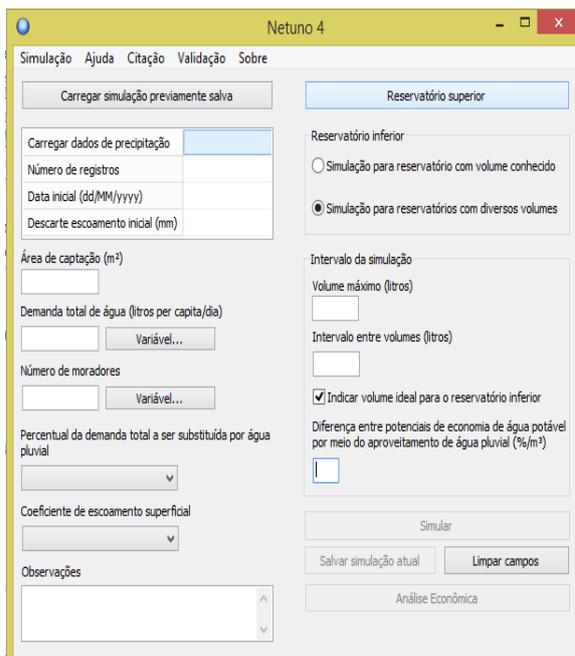


Figura 2 – Tela do programa com entrada de dados

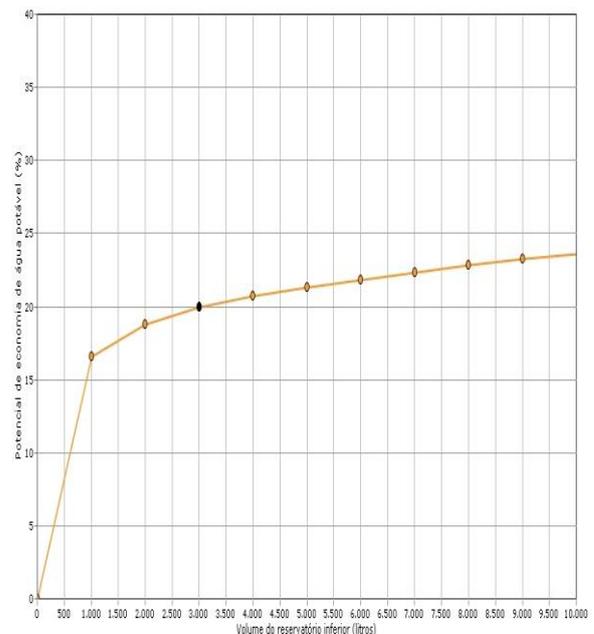


Figura 3 – Gráfico E_{pot} x Volume reservatório (m³)

Tabela 1 – Volume do reservatório e potencial de economia de água potável (%)

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V (litros) | 0 | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 7000 | 8000 | 9000 | 10000 |
| E _{pot} (%) | 0 | 16,61 | 18,78 | 19,95 | 20,71 | 21,31 | 21,86 | 22,36 | 22,83 | 23,25 | 23,63 |

- Para V = 1000 litros:

$$\rho_{\text{pluv}} = \frac{E_{\text{pot}}}{\rho_{\text{subst}}} = \frac{16,61}{40} \times 100\% = 41,53\%$$

$$\rho_{\text{pluv}} = \frac{E_{\text{pot}}}{\rho_{\text{subst}}} = \frac{41,53-0}{1-0} = 41,53\%$$

- Para V = 2000 litros:

$$\rho_{\text{pluv}} = \frac{E_{\text{pot}}}{\rho_{\text{subst}}} = \frac{18,78}{40} \times 100\% = 46,95\%$$

$$\rho_{\text{pluv}} = \frac{E_{\text{pot}}}{\rho_{\text{subst}}} = \frac{46,95-41,53}{2-1} = 5,42\%$$

- Para V = 3000 litros:

$$\rho_{\text{pluv}} = \frac{E_{\text{pot}}}{\rho_{\text{subst}}} = \frac{19,95}{40} \times 100\% = 49,88\%$$

$$\rho_{\text{pluv}} = \frac{E_{\text{pot}}}{\rho_{\text{subst}}} = \frac{49,88-46,95}{3-2} = 2,93\% < 5\%/m^3 \rightarrow \text{Volume "ideal" ("ótimo")}: 3000 \text{ litros}$$

O valor escolhido para a diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água de chuva (Δ_{ideal}) foi de $5\%/m^3$. A tabela abaixo objetiva descrever as simulações realizadas para embasar tal escolha, por exemplo, para as edificações unifamiliares. Utilizaram-se, por exemplo, diferentes valores de Δ_{ideal} para 3 tipos de projetos-padrão e para 2 patamares de consumo per capita diário (111 litros/hab x dia, correspondente ao consumo de famílias de classificação DE) e (175 litros/hab x dia, correspondente ao consumo de famílias de classificação AB). A partir de $5\%/m^3$, os resultados do volume ótimo não sofrem variações.

Apêndice 3 – Planilha-modelo de análises financeiras

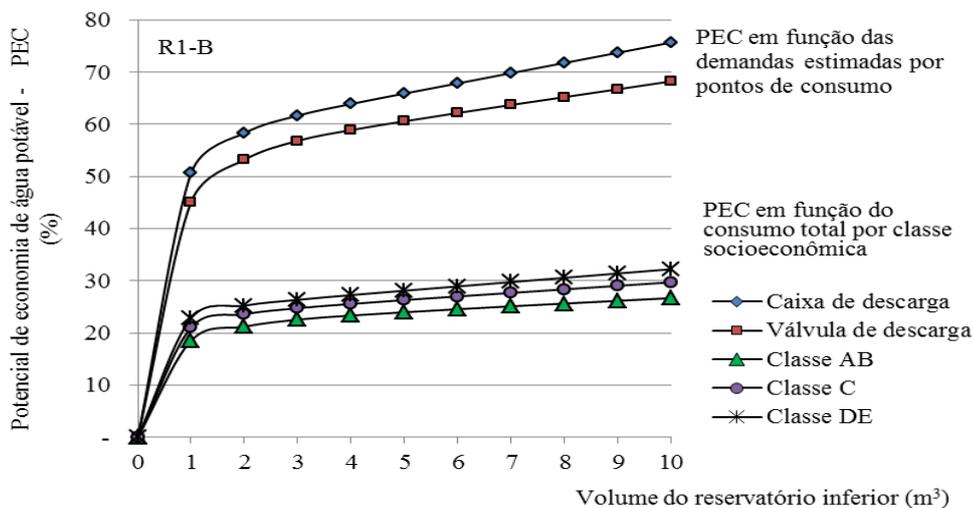
Planilha-modelo para desenvolvimento das análises financeiras referentes às estratégias de redução do consumo residencial de água:

- Sistema de aproveitamento de água de chuva
- Aparelhos hidráulicos economizadores
- Medição individualizada

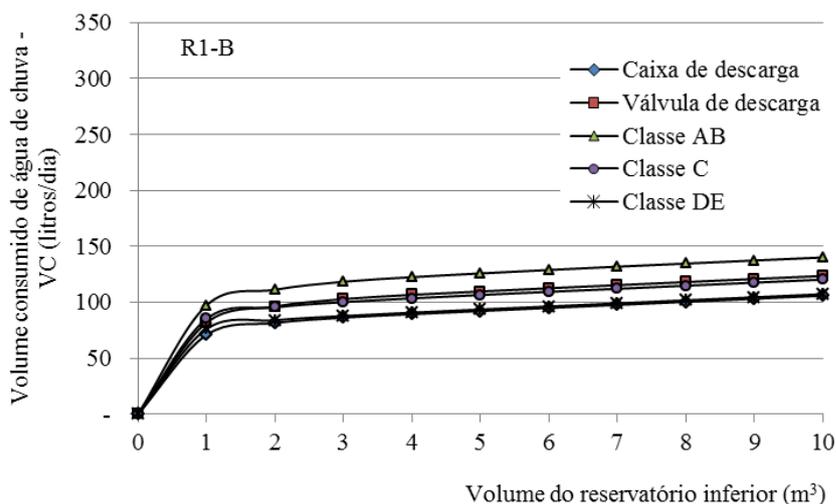
| Projeto-Padrão: | | | | Taxas (%) | Desconto anual (i): | | | | |
|--|-------------------------------|----------|------------|------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------|--|--|
| Volume do reservatório inferior (litros) | | | | | Reajuste anual (R): | | | | |
| Prazo de análise do projeto (meses): | | | | | Mínima de atratividade (TMA): | | | | |
| Parâmetros (R\$) | Implantação (R\$): | | | | Resultados obtidos | Taxa interna de retorno (TIR): | | | |
| | Operacionais (mensais) (R\$): | | | | | Payback | Meses: | | |
| | Manutenção (anuais) (R\$): | | | | | VPL (R\$) | Parcial (payback): | | |
| | Benefícios do sistema (R\$): | | | | | | Total (240 meses): | | |
| Mês | Implantação | Operação | Manutenção | Benefícios | Total | VPL (R\$) | | | |
| | | | | | | Parcial | Total | | |
| 0 | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | |
| 238 | | | | | | | | | |
| 239 | | | | | | | | | |
| 240 | | | | | | | | | |

Apêndice 4 – R1-B – Variáveis hidráulicas e de custo para aproveitamento de água de chuva

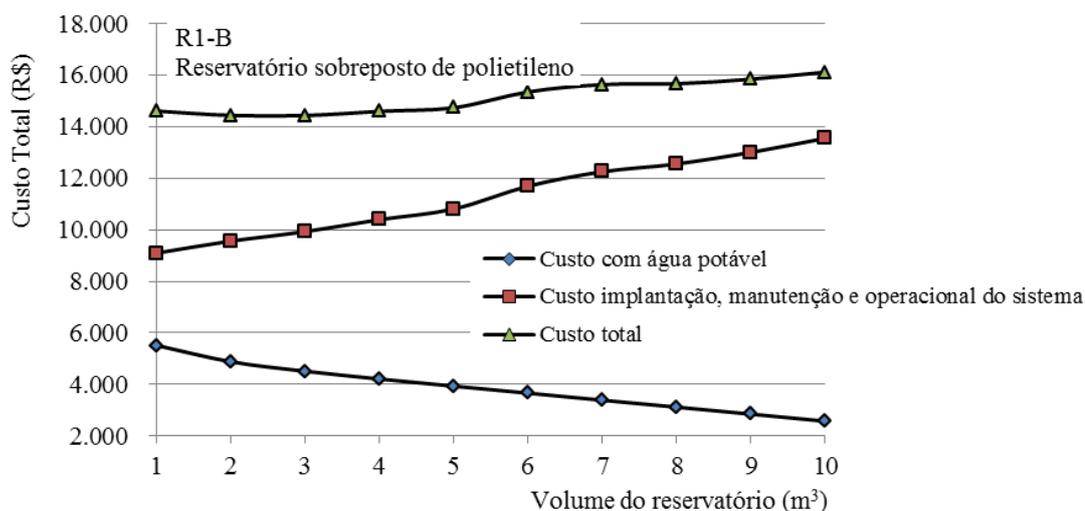
a. Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior

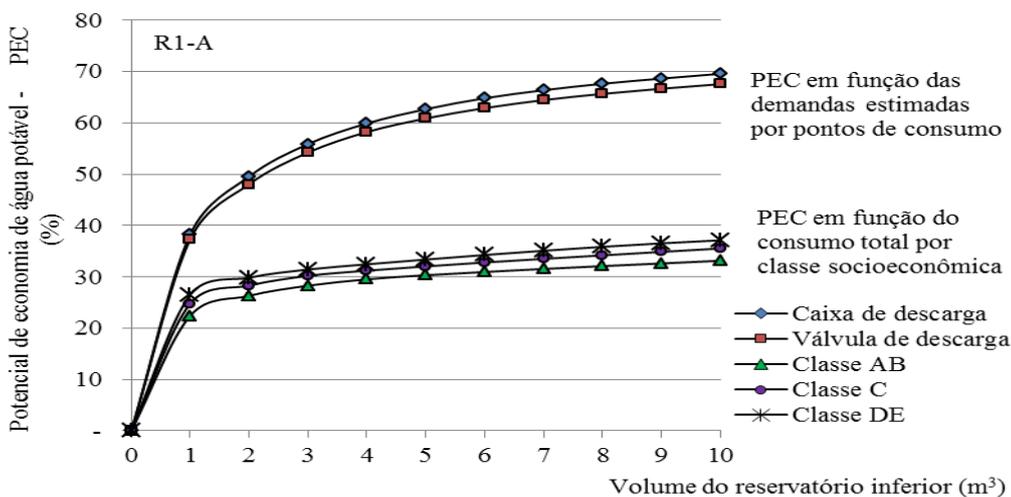


c. Gráfico do custo total do sistema x volume do reservatório

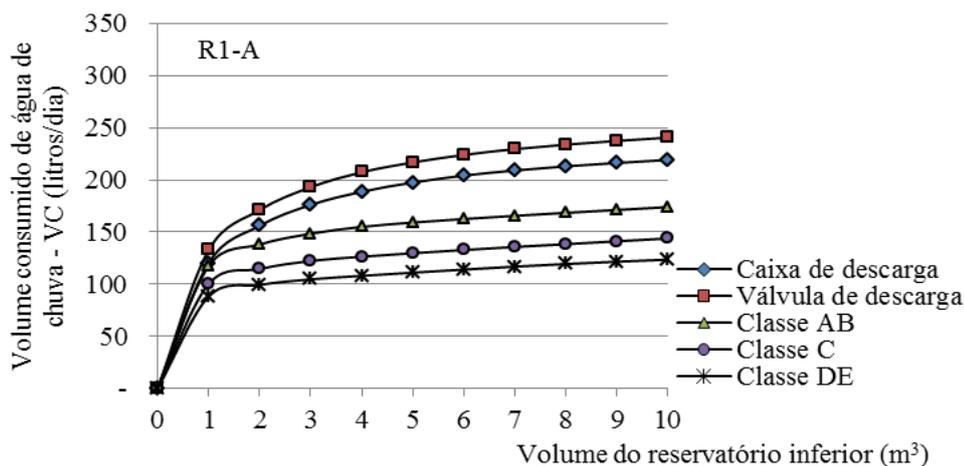


Apêndice 5 – R1-A – Variáveis hidráulicas e de custo para aproveitamento de água de chuva

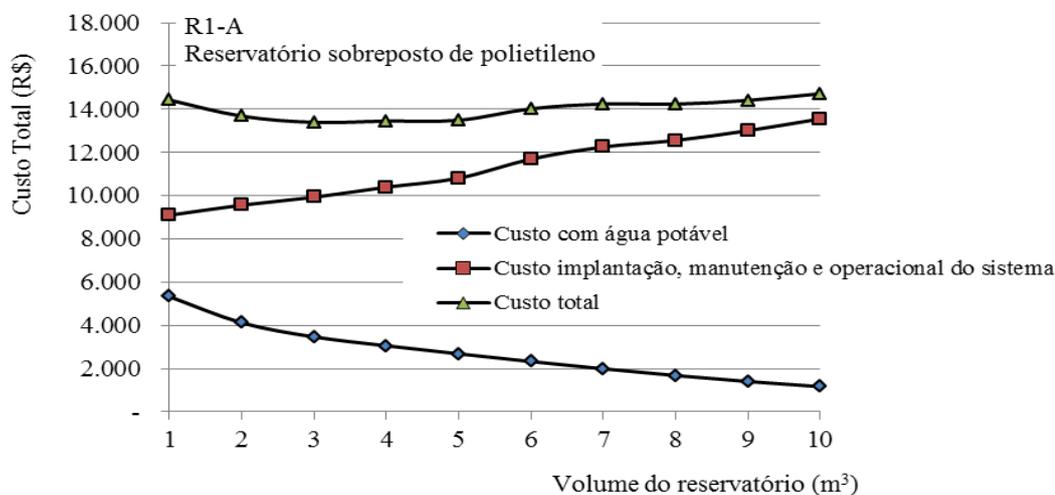
a. Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior

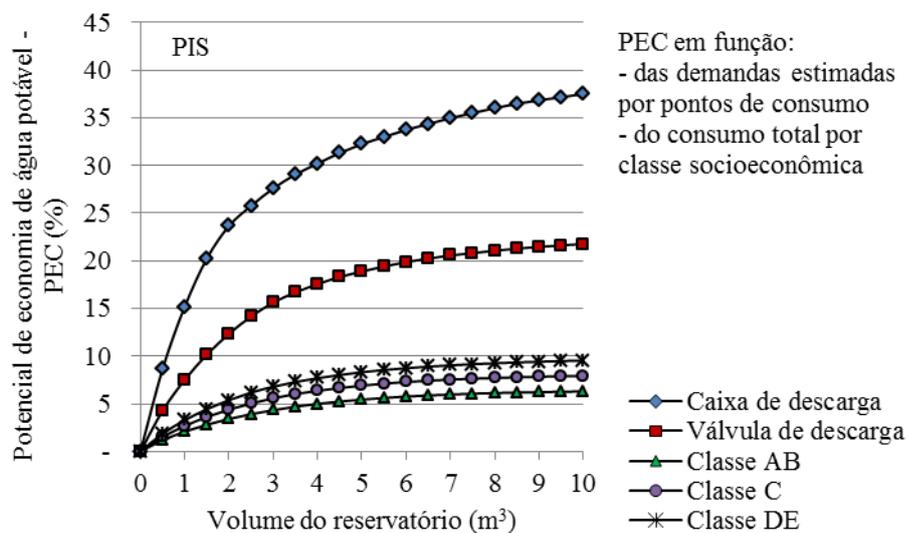


c. Gráfico do custo total do sistema x volume do reservatório

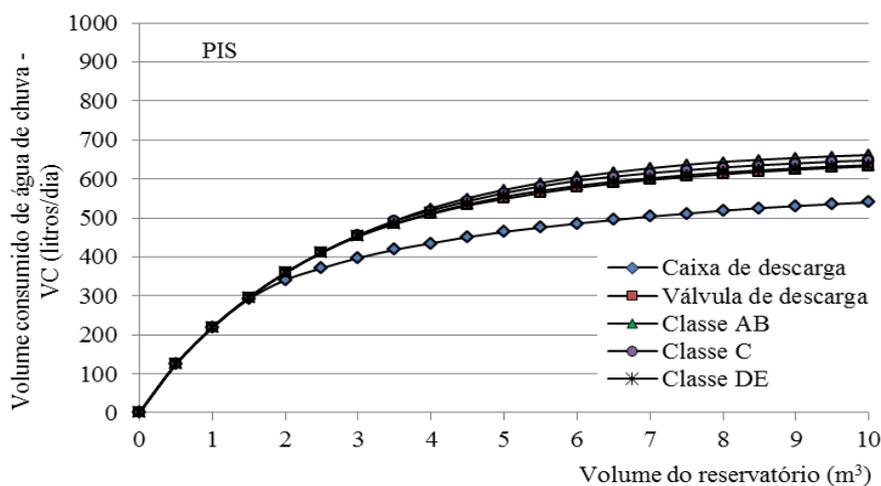


Apêndice 6 – PIS – Variáveis hidráulicas e de custo para aproveitamento de água de chuva

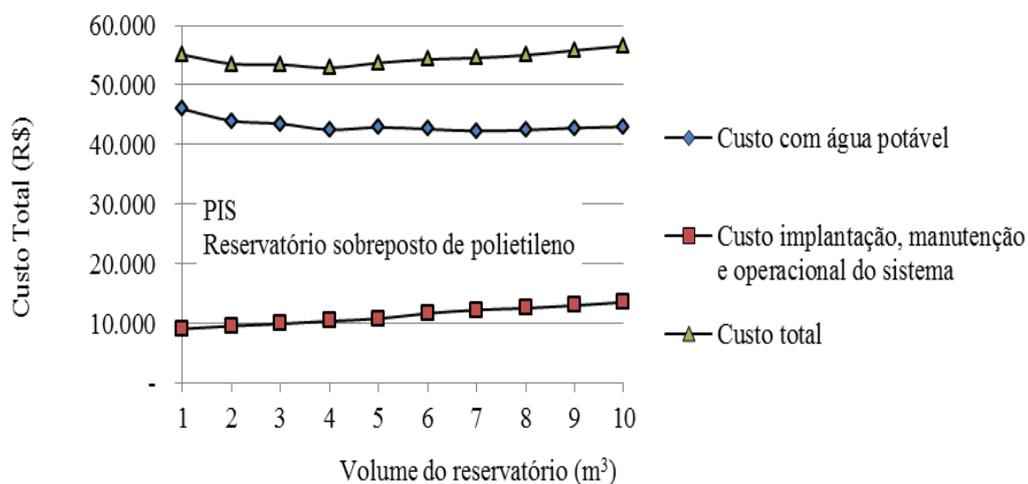
a. Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior

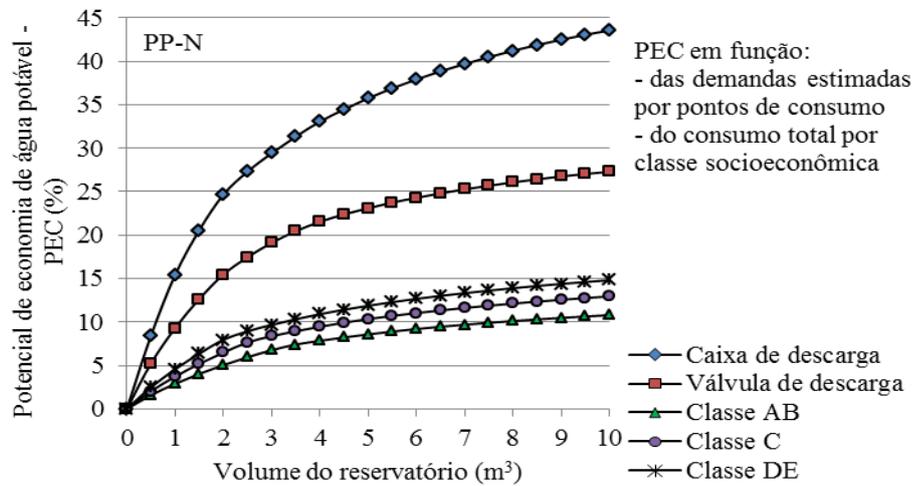


c. Gráfico do custo total do sistema x volume do reservatório

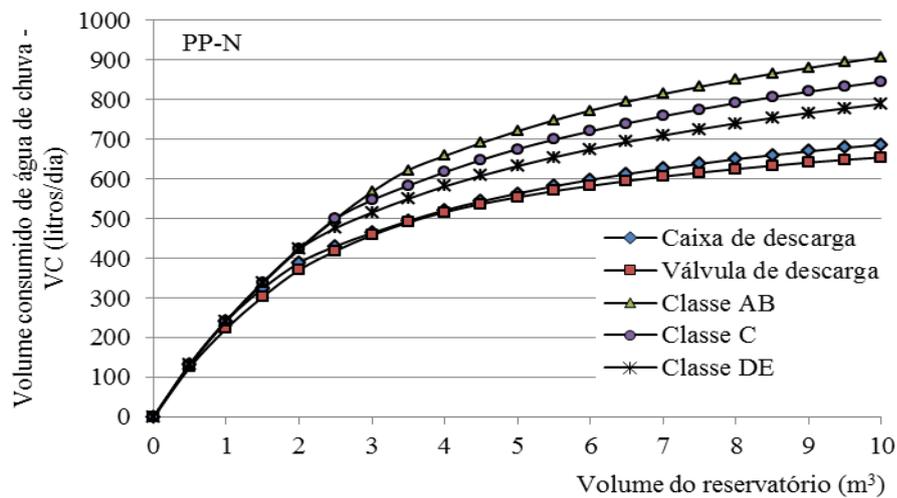


Apêndice 7 – PP-N – Variáveis hidráulicas e de custo para aproveitamento de água de chuva

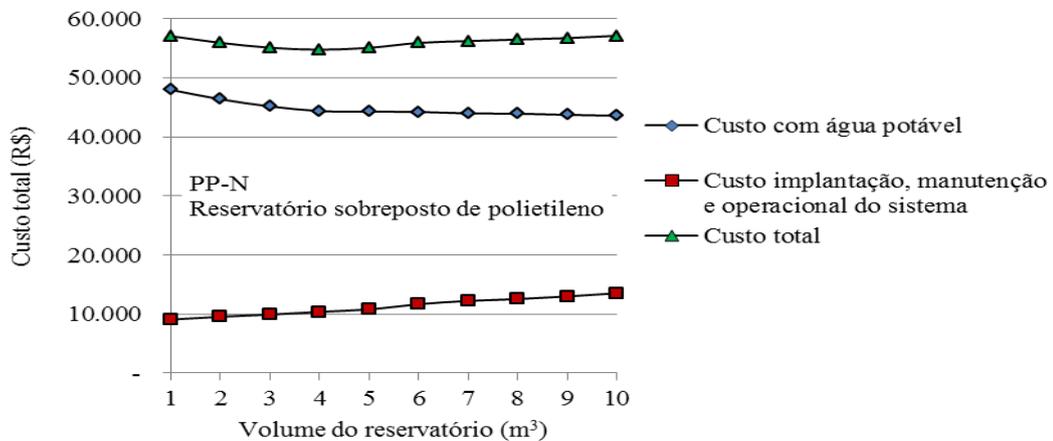
a. Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior

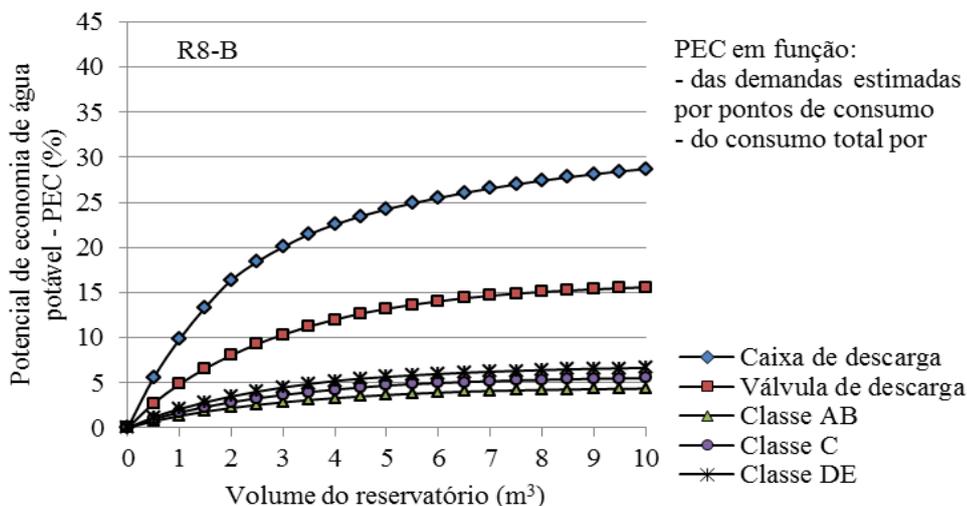


c. Gráfico do custo total do sistema x volume do reservatório

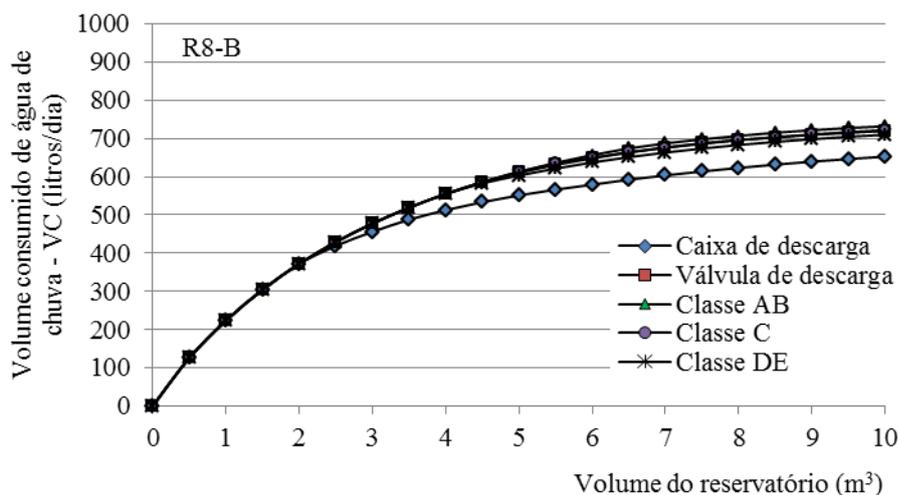


Apêndice 8 – R8-B – Variáveis hidráulicas e de custo para aproveitamento de água de chuva

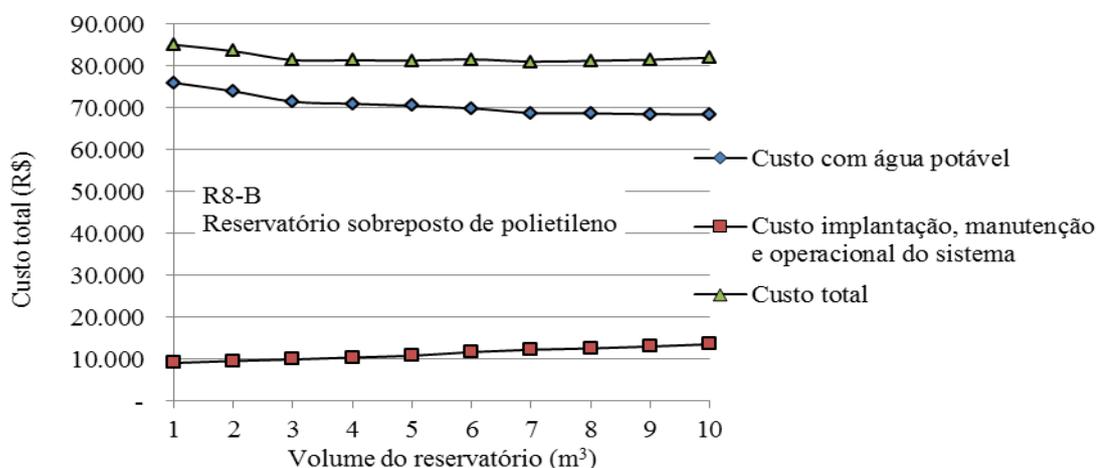
a. Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior

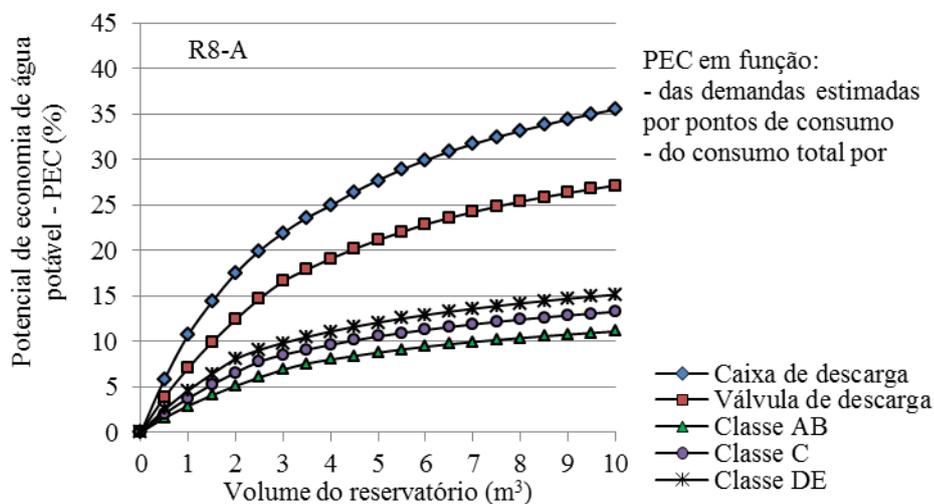


c. Gráfico do custo total do sistema x volume do reservatório

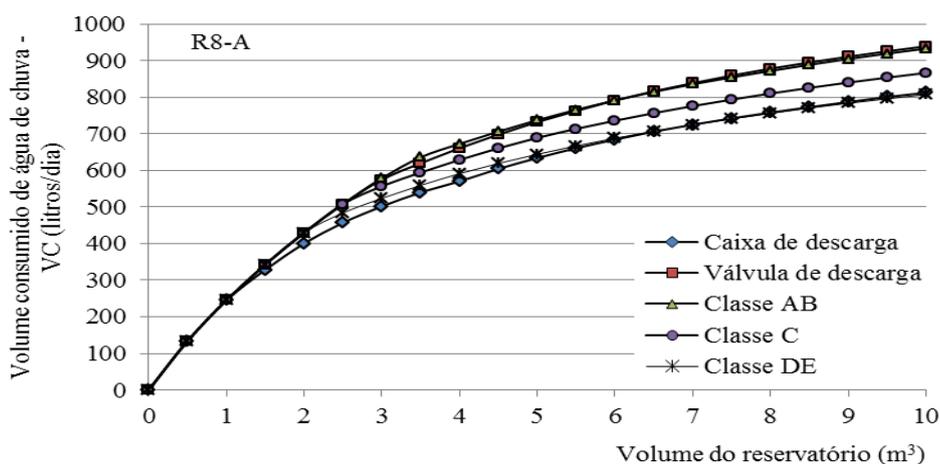


Apêndice 9 – R8-A – Variáveis hidráulicas e de custo para aproveitamento de água de chuva

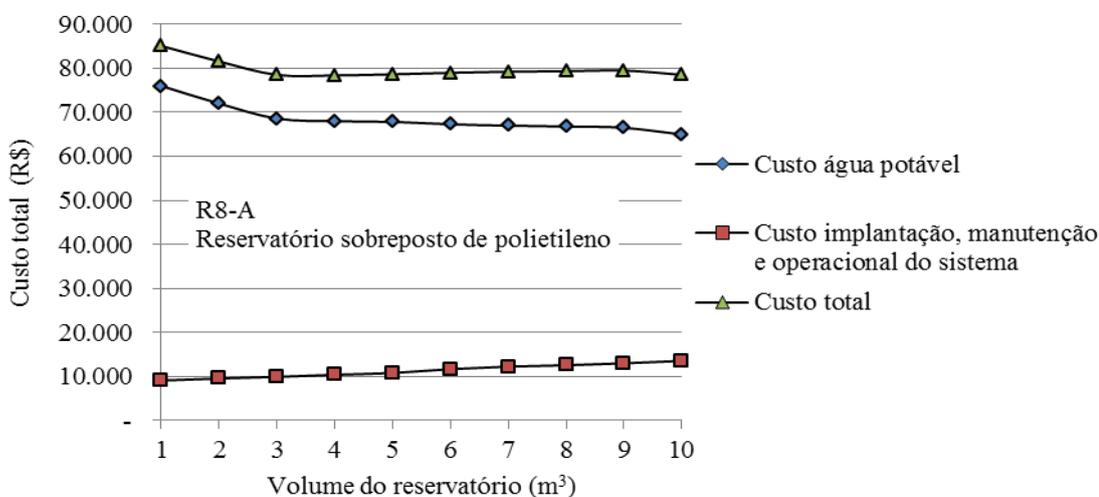
a. Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior

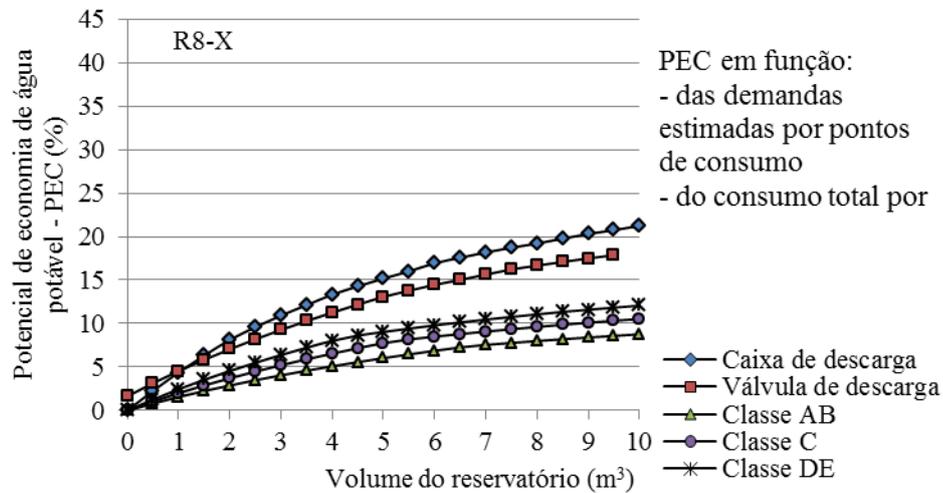


c. Gráfico do custo total do sistema x volume do reservatório

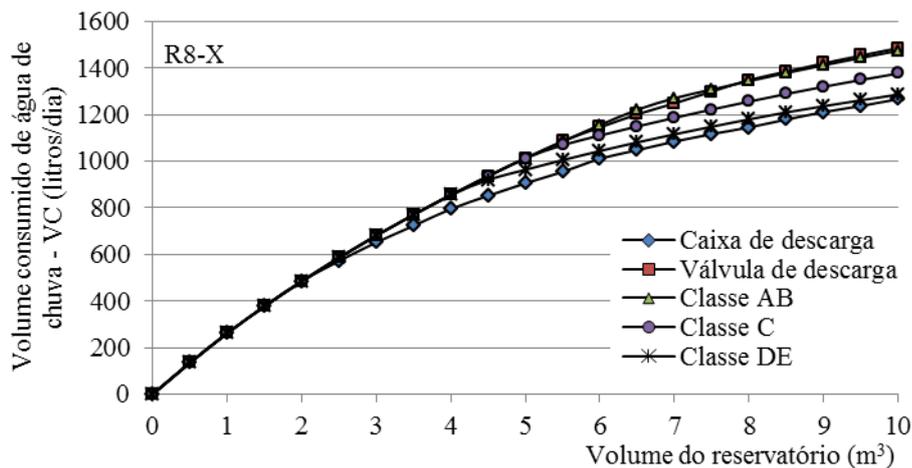


Apêndice 10 – R8-X – Variáveis hidráulicas e de custo para aproveitamento de água de chuva

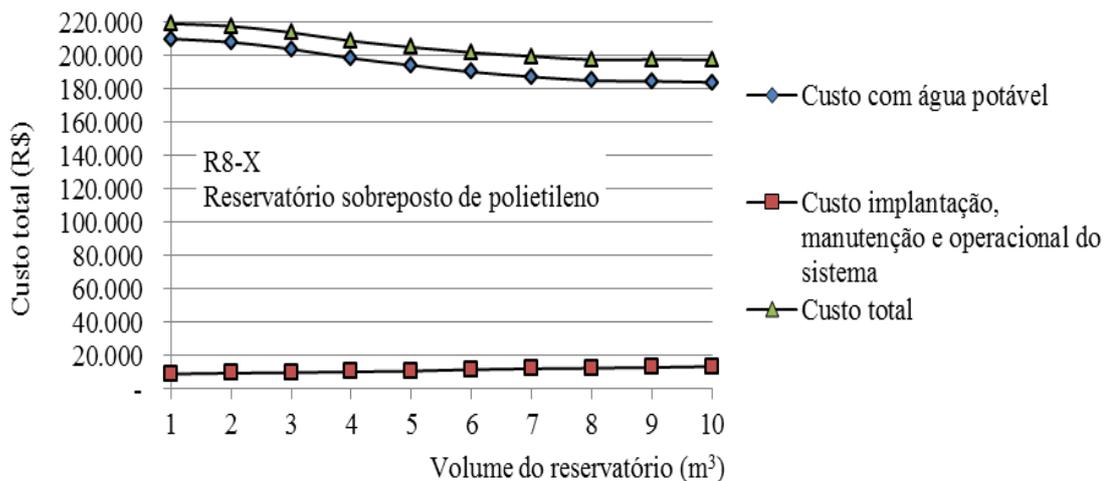
a. Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior

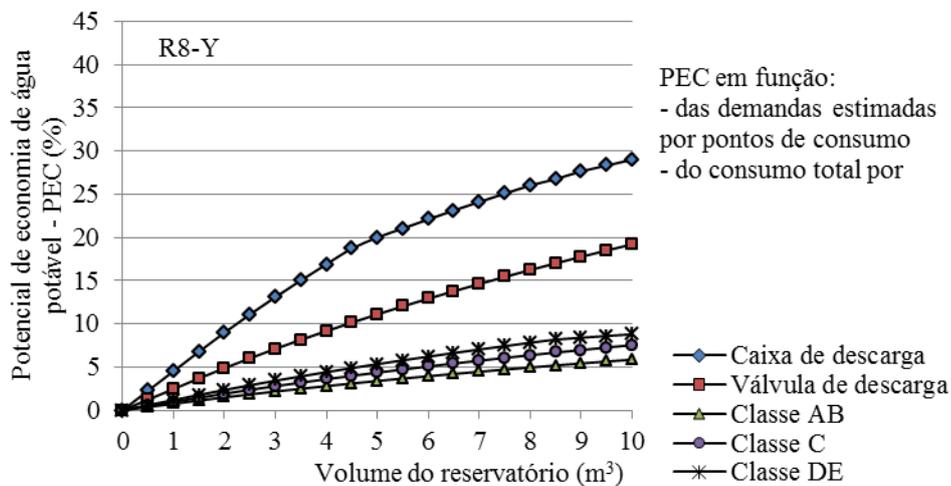


c. Gráfico do custo total do sistema x volume do reservatório

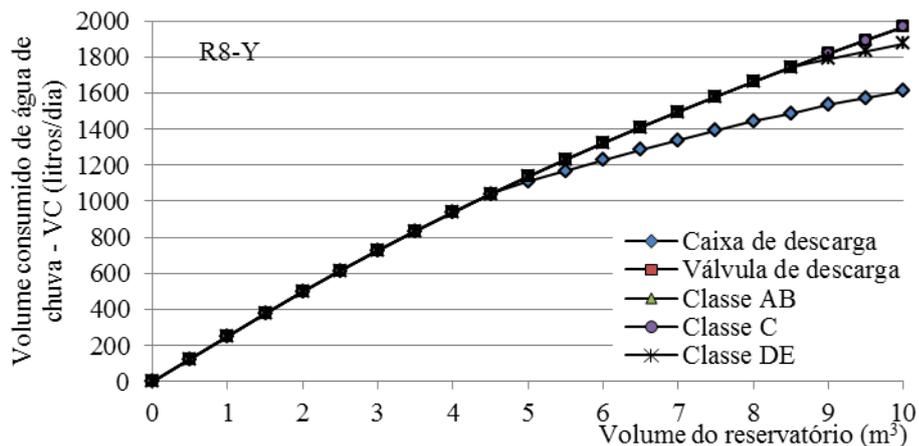


Apêndice 11 – R8-Y – Variáveis hidráulicas e de custo para aproveitamento de água de chuva

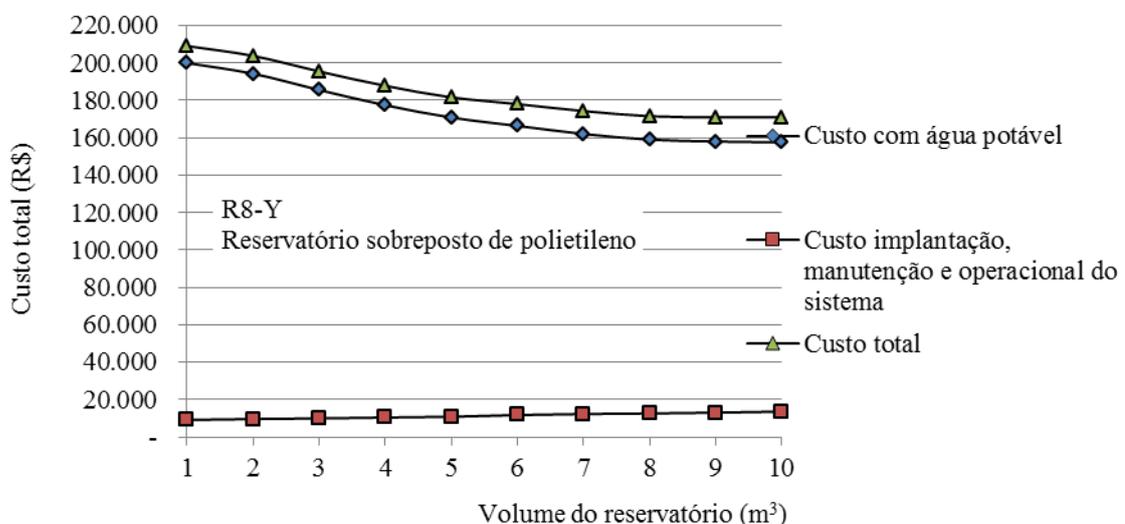
a. Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior

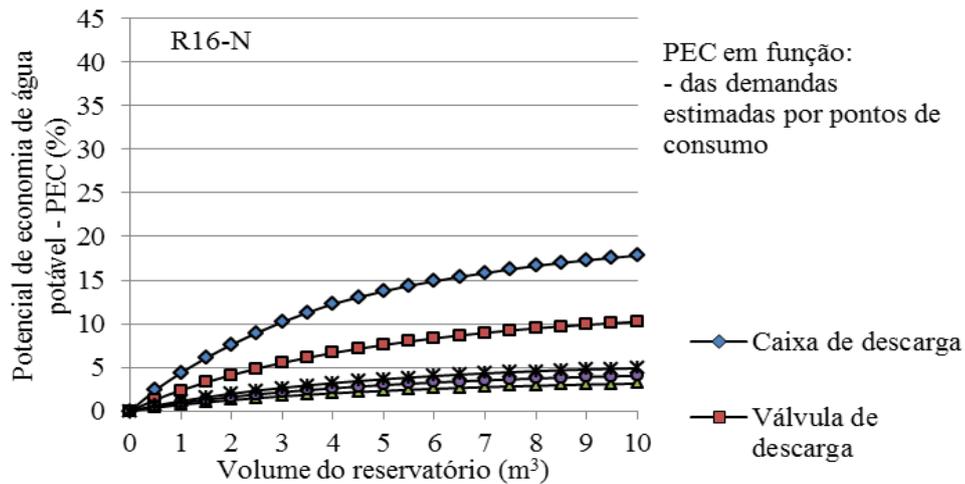


c. Gráfico do custo total do sistema x volume do reservatório

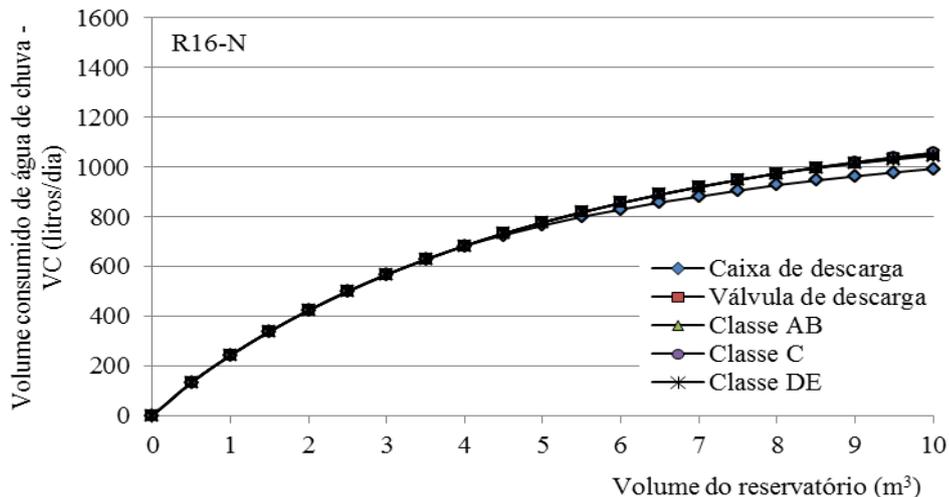


Apêndice 12 – R16-N – Variáveis hidráulicas e de custo para aproveitamento de água de chuva

a. Gráfico do potencial de economia de água potável (PEC) x volume do reservatório inferior



b. Gráfico do volume consumido de água de chuva (VC) x volume do reservatório inferior



c. Gráfico do custo total do sistema x volume do reservatório

