UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ANDRÉ BARCELLOS FERREIRA

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UM PLUG-IN PARA O REVIT® VISANDO A VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SOLUÇÕES PARA A ECONOMIA DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

VITÓRIA
2019

ANDRÉ BARCELLOS FERREIRA

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UM PLUG-IN PARA O REVIT® VISANDO A VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SOLUÇÕES PARA A ECONOMIA DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, área de concentração em Construção Civil, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. João Luiz Calmon Nogueira da Gama

Coorientadores: Prof. Dr. Jorge Leonid Aching Samatelo e Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves

VITÓRIA

2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

Ferreira, André Barcellos, 1988-
F383d Desenvolvimento e aplicação de um plug-in para o Revit visando a verificação da viabilidade econômica de soluções para a economia de água em edificações residenciais / André Barcellos Ferreira. - 2019.
178 p. : il.

Orientador: João Luiz Calmon Nogueira da Gama.
Coorientadores: Jorge Leonid Aching Samatelo, Ricardo Franci Gonçalves.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Engenharia civil. 2. Água - reuso. 3. Águas pluviais. 4. Software - Desenvolvimento. 5. Estudos de viabilidade. I. Gama, João Luiz Calmon Nogueira da. II. Samatelo, Jorge Leonid Aching. III. Gonçalves, Ricardo Franci. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. V. Título.

CDU: 624

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE UM PLUG-IN PARA O REVIT VISANDO A VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE SOLUÇÕES PARA A ECONOMIA DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS

André Barcellos Ferreira

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de Construção Civil.

Aprovada no dia **14 de março de 2019** por:

Prof. Dr. João Luiz Calmon Nogueira da Gama
Doutor em Engenharia Civil
Orientador – UFES

Prof. Dr. Jorge Leonid Aching Samatelo
Doutor em Engenharia Elétrica
Coorienador – UFES

Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves
Doutor em Engenharia Civil
Coorientador - UFES

Profa. Dra. Geilma Lima Vieira
Doutora em Engenharia Civil
Examinadora Interna – UFES

Prof. Dr. Edumar Ramos Cabral Coelho
Doutor em Hidráulica e Saneamento
Examinador Externo – PPGEA-UFES

Vitória – ES, março de 2018

AGRADECIMENTOS

Nesta seção deveria agradecer a todos os que me ajudaram de alguma forma a concluir este trabalho. Contudo, receio que não seja capaz de citar todos. Gostaria de agradecer à minha família pelo apoio e compreensão em todas as fases deste trabalho: minha mãe, Gilsa Helena Barcellos; meu padrasto, Winfridus Gerardus Overbeek, e todos os outros.

Gostaria de agradecer aos meus colegas de trabalho que me ajudaram ao longo do trabalho, em especial a: Felipe Demuner Magalhães, Daniel Pompermayer, Ricardo Nacari Maioli e Diogo Furtado de Moura. Ao ex-estagiário da Prefeitura Universitária, e meu amigo, Alan Zanão, cuja ajuda foi fundamental para concluir a parte de geração dinâmica da equação em notação matemática no memorial de cálculo gerado pelo software. E à minha amiga Fernanda Vilaschi, por ter me cedido o modelo do Revit® com a arquitetura para aplicar o *plug-in*.

Ao professor Fábio Dutra, do Departamento de Matemática da UFES, por ter me ajudado a determinar e entender a equação do período de retorno do investimento, com todos os custos corrigidos pela inflação. Ao biólogo Gustavo Ferreira, da empresa Fluxo Ambiental, pela ajuda durante todo o período do desenvolvimento do trabalho, e do modelo, principalmente. Ao ex-aluno do programa de pós-graduação da Engenharia Ambiental da UFES Thiago Keller Franci, pela ajuda ao longo do trabalho, e pela ajuda essencial para que eu conseguisse propor um modelo para o cálculo do custo com operação e manutenção do sistema de tratamento de águas cinzas.

Ao meu orientador, João Luiz Calmon Nogueira da Gama, que me orientou já na graduação, em minha monografia, por ter aceitado este tema, e todos os riscos que envolviam desenvolver algo tão complexo e que envolvia tantas áreas.

Ao meu coorientador Jorge Leonid Aching Samatelo, que conheço desde a graduação, quando ele era ainda aluno do mestrado de Engenharia Elétrica da UFES, por aceitar dividir um pouco do seu conhecimento sobre programação comigo.

E ao meu coorientador Ricardo Franci Gonçalves, cujo trabalho já leio e utilizo desde

muito antes de muito antes de iniciar essa pesquisa, enquanto engenheiro da prefeitura da UFES, por aceitar este desafio, e me dar a oportunidade de trabalhar ao lado do autor mais relevante sobre o tema no Brasil (como considero).

RESUMO

Em escala global, e também no Brasil, o crescimento populacional, as mudanças climáticas, a urbanização, e muitos outros fatores têm levado a um desequilíbrio crescente entre oferta e demanda de água potável. Medidas que aumentem a eficiência em relação ao seu uso, assim como as que permitam o uso de fontes alternativas, são muito bem vindas. É fundamental, porém, que essas soluções sejam vistas como investimento, e não como custo, para que sejam adotadas em larga escala. Este trabalho tem como objetivo fornecer aos projetistas uma solução (disponibilizada na forma de um plug-in para o Revit®) para a verificação da viabilidade econômica do investimento adicional necessário à execução de um projeto com soluções racionais em relação ao uso da água em lugar de um projeto com soluções tradicionais, trazendo essa análise econômica para a etapa de projeto. Consideram-se como soluções possíveis: reuso de águas cinzas, aproveitamento de águas pluviais e utilização de dispositivos economizadores. A viabilidade se verifica quando o período de retorno do investimento é menor do que a vida útil do sistema. A ferramenta desenvolvida busca determinar esse período, através de um modelo matemático criado com base nos valores de: vazões típicas de aparelhos tradicionais e economizadores; frequências de uso; tipos de aparelhos utilizados; dados de consumo externo; dados financeiros; dados para estimativa dos custos com operação e manutenção. Além disso, ela faz uso da tecnologia BIM (Building Information Modeling), condicionando seus resultados ao projeto da edificação na tecnologia, mais especificamente utilizando o software Autodesk® Revit®. O modelo matemático foi criado com base em uma revisão bibliográfica sobre o tema, aproveitando paralelos com trabalhos semelhantes, e propondo novas abordagens em pontos específicos, como a utilização de dados característicos de cada projeto para a verificação. O resultado foi um plug-in para o Revit®, representado por uma aba adicional na interface do usuário, completamente integrado ao software, e adequado à realidade brasileira, tanto no tocante às normas quanto no que diz respeito aos procedimentos para orçamentação (permitindo o uso de tabelas de órgãos estatais de composições unitárias de custos e aplicação de BDI ao orçamento).

ABSTRACT

Population growth, climate change, urbanization, and many other factors have resulted in a growing imbalance between the supply and demand of drinking water, both at a global scale, as well as in Brazil. Measures that increase the efficiency of use and allow using alternative sources, are very much needed. However, it is crucial that these solutions are seen as an investment and not as a cost, so that they are adopted at a large scale. This research aims at offering project designers a solution (made available as a Revit plug-in) to verify the economic viability of additional investments needed for the implementation of a project with rational water-saving solutions, instead of a one with traditional solutions. By doing this, this economic analysis is transferred to the design stage. The following possible solutions are considered: reuse of greywater, use of rainwater and use of water-saving devices. The viability is verified when the payback period of the investment is less than the system lifetime. The developed tool intends to determine this period by way of a mathematical model created based on the amounts of: typical flow rates for traditional and water-saving devices; frequencies of use; types of devices used; data about consumption outside the building; financial data; data to estimate the costs with operation and maintenance. In addition, the tool uses BIM (Building Information Modeling) technology. One condition for its use is that all the building projects are designed using a BIM software – more precisely, the software Autodesk Revit. The mathematical model was created based on a literature review about the topic, using comparisons with similar studies and proposing new approaches on specific issues, like the use of specific data of each project for a verification. This resulted in a plug-in for Revit. It is represented by an additional tab in the user interface, fully integrated in the software, and suitable for the Brazilian context, both in terms of the standards as well as in relation to the proceedings of budgeting (allowing the use of reference prices of tables from state institutions and the application of BDI into the budget).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – PCA em edificações novas....32
Figura 2 – Perfil de consumo típico resultante....35
Figura 3 – Padrões de demanda para o Brasil....36
Figura 4 – Amostras de águas cinzas coletadas de diferentes pontos....45
Figura 5 – Geração e demanda de águas cinzas típicas em uma cidade universitária....47
Figura 6 – Filtro autolimpante vertical 3P Technik....50
Figura 7 – Filtro autolimpante horizontal 3P Technik....50
Figura 8 – Exemplo de sistema com torneira de boia para reservatório de descarte 52
Figura 9 – Área de trabalho do Revit®....58
Figura 10 – Paleta Propriedades....59
Figura 11 – IDE do Visual Studio....66
Figura 12 - Guia Water Saving, criada pelo plug-in na interface do usuário do Revit®....95
Figura 13 – Arquitetura da edificação utilizada para a aplicação do plug-in....101
Figura 14 – Sistema tradicional....101
Figura 15 – Sistema com soluções para economia de água....102
Figura 16 – Janela *Settings* para a edificação considerada (aba *General*)....103
Figura 17 – Janela *Settings* para a edificação considerada (aba *Traditional Devices*)....104
Figura 18 – Janela *Settings* para a edificação considerada (aba *Additional Settings*)....105
Figura 19 – Janela *Settings* para a edificação considerada (aba *Greywater Treatment*)....106
Figura 20 – Janela apresentada após a seleção dos sistemas....107
Figura 21 – Janela *Review*, aba *Systems Selection*....108
Figura 22 – Janela *Search Compositions*....109
Figura 23 – Janela *Review*, aba *Traditional Budget*....110
Figura 24 – Exemplo de *tooltip*....112
Figura 25 – Janela *Calculation Memory* para a edificação considerada (início)....112
Figura 26 – Janela *Calculation Memory* para a edificação considerada (fim)....113
Figura 27 – Janela exibida pelo botão *Run Calculation* (1)....119

Figura 28 – Janela exibida pelo botão *Run Calculation* (2).....119
Figura 29 – Janela exibida pelo botão *Run Calculation* (3).....119

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Passos para o estudo do perfil de consumo em residências 35
Quadro 2 – Períodos de retorno segundo a característica da área a ser drenada....48
Quadro 3 – Estimativa de consumo per capita para a cidade de belo horizonte em dezembro de 2006 91
Quadro 4 – Fatores de correção a serem aplicados sobre o consumo per capita em função da classe de renda dos moradores.....91
Quadro 5 – Dados de consumo externo.....92
Quadro 6 – Valores típicos dos dispositivos residenciais na Dinamarca 148
Quadro 7 – Dados para cálculo das demandas não potáveis.....153
Quadro 8 – Estimativa de produção de água cinza 154
Quadro 9 – Vazões e volumes referenciais de pontos de utilização de água em uma instalação residencial.....158
Quadro 10 – Especificação de equipamentos hidráulicos economizadores 173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Usos da água nas cidades de Malvern e Mansfield 34
Tabela 2 – Resumo dos padrões de demanda de vários estudos 37
Tabela 3 – Indicadores de consumo per capita encontrados na literatura. 39
Tabela 4 – Dados de consumo dos aparelhos de uso interno 88
Tabela 5 – Consumo máximo de água por peça sanitária nos EUA a partir de 1994 143
Tabela 6 – Padrões de eficiência federais para o uso da água em equipamentos hidráulicos estabelecidos pelo US Energy Policy Act 1992 144
Tabela 7 – Comparação das características de equipamentos convencionais e eficientes 145
Tabela 8 – Comparação do consumo de água para lavagem de roupas e louças: com lavadora e manualmente 145
Tabela 9 – Parâmetros sobre o consumo de água em aparelhos sanitários (medição no prédio 24 do IPT) 146
Tabela 10 – Parâmetros sobre o consumo de água em aparelhos sanitários (quatro campanhas de medição) 146
Tabela 11 – Perfil do consumo doméstico de água 146
Tabela 12 – Componentes do consumo de água na Holanda em 1992 147
Tabela 13 – Estimativas da demanda residencial em água potável, uso externo 147
Tabela 14 – Estimativas da demanda residencial de água potável, uso interno 148
Tabela 15 – Medidas convencionais de conservação da água e porcentagens aproximadas de economia 149
Tabela 16 – Dados relativos a máquina de lavar pratos 149
Tabela 17 – Dados relativos a máquina de lavar roupa 149
Tabela 18 – Consumo interno de uma casa com e sem conservação em cidades dos Estados Unidos 149
Tabela 19 – Parâmetros de engenharia para estimativas de demanda residencial de água 150
Tabela 20 – Estimativa de consumo de mangueiras de jardim 150
Tabela 21 – Parâmetros de engenharia para estimativas de demanda residencial de água potável para uso externo 150
Tabela 22 – Estimativa semanal de água para irrigação de jardins 151

Tabela 23 – Comparação das características dos equipamentos economizadores de água com os convencionais 152
Tabela 24 – Estimativa de consumo per capita diário com base no uso racional da água 153
Tabela 25 – Demanda residencial não potável 153
Tabela 26 – Simulação de distribuição do consumo de uma família brasileira de 4 pessoas 154
Tabela 27 – Diferentes tipos de vasos sanitários quanto ao tipo de descarga utilizado 154
Tabela 28 – Volume e vazão de regime de aparelhos de descarga 155
Tabela 29 – Valores comparativos do consumo de água no chuveiro 155
Tabela 30 – Valores medidos em condição real de uso no prédio 24 do IPT.....155
Tabela 31 – Vazão no arejador segundo proposta de norma em discussão na ABNT 156
Tabela 32 – Parâmetros estabelecidos na NBR 13.713/96 – Aparelhos hidráulicos acionados manualmente e com ciclo de fechamento automático 156
Tabela 33 – Parâmetros Estabelecidos na NBR 13.713/96 em revisão 156
Tabela 34 – Torneira de acionamento hidromecânico – Valores medidos em condição real de uso 156
Tabela 35 – Torneira de acionamento foto elétrico; valores medidos em condição real de uso 156
Tabela 36 – Valores de consumo de água e volume por uso em mictórios cuja limpeza foi realizada por válvulas de descarga.....157
Tabela 37 - Perfil do consumo doméstico medido em um apartamento popular na cidade de São Paulo 157
Tabela 38 – Cálculo da redução de consumo por substituição de aparelhos sanitários em apartamentos existentes.....159
Tabela 39 – Perda de água por vazamentos em vazos sanitários.....160
Tabela 40 – Vazão de aparelhos sanitários.....160
Tabela 41 – Frequência, tempo e consumo médio de água per capita para aparelhos de uso individual no SENAI de Florianópolis 160
Tabela 42 – Economia de água com a adoção de medidas economizadoras.....161
Tabela 43 – Consumo doméstico de água 162
Tabela 44 – Dados de economia dos equipamentos hidráulicos 163

Tabela 45 – Consumo de equipamentos hidráulicos 163
Tabela 46 – Exemplo de aplicação do pura em diversas instituições 164
Tabela 47 – Redução de consumos em torneiras utilizando equipamentos economizadores 164
Tabela 48 – Redução de consumo em torneiras utilizando equipamentos economizadores 164
Tabela 49 – Vazões médias, típicas e frequência de uso dos aparelhos sanitários 165
Tabela 50 – Temporização do ciclo de funcionamento, vazão mínima e volume máximo de água por ciclo 166
Tabela 51 – Comparação entre produtos convencionais e produtos economizadores de água 167
Tabela 52 – Valores de duração de descargas (por usuário e por uso) e de vazão dos aparelhos sanitários utilizados na simulação do modelo probabilístico aberto 168
Tabela 53 – Valores do número de usos per capita utilizados na simulação do modelo probabilístico aberto 168
Tabela 54 – Médias de consumo dos frequentadores de uma instituição de ensino superior 169
Tabela 55 – Economa presumida, baseada em estudos de caso 170
Tabela 56 – Valores de água cinza gerados em apartamentos da amostra piloto .. 171
Tabela 57 – Resultados gráficos dos volumes de água cinza gerados por tipologia dos apartamentos 171
Tabela 58 – Distribuição do consumo de água por aparelho, conforme a tipologia dos apartamentos (de acordo com as tipologias da Tabela 74) 172
Tabela 59 – Distribuição do consumo de água potável e economia de água com o reuso 172

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
API	*Application Programming Interface*
BDI	Benefício das Despesas Indiretas
BDO	Demanda Biológica de Oxigênio
BIM	*Building Information Modeling*
BNH	Banco Nacional de Habitação
CAD	*Computer-Aided Design*
FIESP	Fundação das Indústrias do Estado de São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IOPES	Instituto de Obras Públicas do Espírito Santo
LPF	Litros por Fluxo
MEP	*Mechanical, Electrical and Plumbing*
OCDE	Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade da Habitação
PCA	Programa de Conservação da Água
PURA	Programa de Uso Racional da Água
SCO	Sistema de Custos para Obras e Serviços de Engenharia
SDK	*Software Development Kit*
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
Sinduscon-SP	Sindicato das Indústrias da Construção Civil do Estado de São Paulo
VPL	Valor Presente Líquido
WPF	*Windows Presentation Foundation*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 23
1.1 OBJETIVOS 26
1.1.1 Objetivo geral 26
1.1.2 Objetivos específicos 26
2 BASE TEÓRICA 27
2.1 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA 29
2.2 A ESCASSEZ DA ÁGUA 29
2.2.1 Iniciativas nacionais e internacionais de combate ao problema 30
2.3 ECONOMIA DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES 32
2.3.1 Padrões de demanda 33
2.3.2 Redução do consumo 38
2.3.3 Dispositivos economizadores 38
2.3.4 Medição individualizada 40
2.3.5 Fontes alternativas 41
2.3.5.1 Reuso de águas cinzas 41
2.3.5.1.1 Tratamento 44
2.3.5.1.2 Aceitação e confiabilidade do sistema 46
2.3.5.2 Aproveitamento de águas pluviais 48
2.4 O BIM COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISE DA REDUÇÃO DO CONSUMO 57
2.4.1 Revit®: o software escolhido 57
2.4.2 O Revit® para instalações prediais 62
2.4.3 A interface de programação do Revit® 64
2.5 DADOS RELATIVOS À ESTIMATIVA DE CUSTOS 66
2.5.1 Tabelas unitárias de composições de custos 66
2.5.2 Custos com operação e manutenção de sistemas compactos de tratamento de águas cinzas 68
2.6 TRABALHOS RELACIONADOS 69
2.6.1 Análise da viabilidade econômica de sistemas de reuso de águas CINZAS e aproveitamento de águas pluviais 69
2.6.2 Análise das contribuições do modelo proposto 74
3 O MODELO PROPOSTO 77

4 RESULTADOS 83
4.1 O MODELO PARA O CÁLCULO DO PERÍODO DE RETORNO 85
4.1.1 O cálculo do consumo 85
4.1.2 O período de retorno 92
4.2 O MODELO COMO UM PLUG-IN PARA O REVIT® 95
4.3 O PLUG-IN APLICADO A UM CASO REAL 100
5 CONCLUSÕES 121
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 124
REFERÊNCIAS 127
ANEXOS 141
ANEXO A – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 1 143
ANEXO B – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 2 144
ANEXO C – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 3 146
ANEXO D – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 4 147
ANEXO E – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 5 149
ANEXO F – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 6 150
ANEXO G – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 7 152
ANEXO H – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 8 153
ANEXO I – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 9 160
ANEXO J – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 10 161
ANEXO K – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 11 162
ANEXO L – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 12 163
ANEXO M – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 13 164
ANEXO N – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 14 165
ANEXO O – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 15 166
ANEXO P – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 16 167
ANEXO Q – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 17 168
ANEXO R – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 18 169
ANEXO S – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 19 170
ANEXO T – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 20 171
ANEXO U – ESPECIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS HIDRÁULICOS ECONOMIZADORES 173

1 INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional, e sua concentração cada vez maior nos grandes centros, aliados a outros fatores, como mudanças climáticas, está levando a um estado crítico a relação entre oferta e demanda de água em todo o mundo, em algumas regiões mais, em outras menos. Tradicionalmente, algumas regiões são caracterizadas por esse estado, por exemplo: oeste dos Estados Unidos, Oriente Médio, nordeste brasileiro. Mas, devido às mudanças climáticas, até mesmo regiões que se destacavam pela abundância desse recurso hoje sofrem com longos períodos de estiagem.

Estresse hídrico é um termo utilizado para definir a situação em que a demanda por água é maior do que sua oferta. Para combater esse estado, deve-se ou aumentar a oferta ou reduzir a demanda. Tradicionalmente, a solução adotada tem sido o aumento da oferta. No entanto essa solução é cara, e, em alguns casos, inviável. Este trabalho visa promover a gestão da demanda, como contribuição para a solução do problema, no universo das edificações residenciais.

Com o surgimento da tecnologia BIM (*"Building Information Modeling"*, ou Modelagem de Informação da Construção), os projetos deixaram de ser simples esquemas e representações, e tornou-se possível simular virtualmente a construção, em todas as suas etapas. Na etapa de projeto, ao invés de linhas representando paredes, tubulações etc., passou-se a modelar esses elementos. A edificação, ainda na etapa de projeto, deixou de ser uma série de pranchas em formato DWG, e tornou-se um modelo computacional completo, repleto de informações sobre seus elementos.

Apesar disso, ainda hoje, para analisar a viabilidade econômica de um sistema que promova a eficiência no uso da água, é necessário projetar os sistemas integralmente (o tradicional e o eficiente), orçá-los, e comparar a diferença entre os orçamentos com o benefício financeiro que se espera ao longo do tempo. Isso é trabalhoso, além de requerer alta capacidade técnica dos envolvidos, sob o risco de obter-se resultados irreais. Isso torna esses sistemas não atrativos, pois não se enxerga nesse investimento adicional vantagem econômica, que, no final das contas, é o que define os investimentos na área da construção civil.

Nesse contexto, é extremamente útil uma solução computacional que automatize todo esse processo, trazendo para a etapa de projeto essa informação, sobre a viabilidade econômica das soluções. É essa lacuna que este trabalho busca preencher.

Dentro da tecnologia BIM, existem inúmeros softwares. Entre esses, o mais utilizado hoje é o Revit® (da Autodesk). Isso se confirma pela existência das bibliotecas da Tigre®, Deca®, Docol®, entre outros, para ele, em detrimento dos demais. Igualmente, o plug-in da Tigre® (o TigreCAD®) existe apenas para o Revit®. Por esse motivo, ele foi escolhido como software principal, e a solução computacional foi proposta como uma solução complementar a ele.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Criar um *plug-in* para o software Autodesk® Revit® que calcule de forma automática o período de retorno do investimento adicional necessário para a implantação de sistemas eficientes em relação ao uso da água (reuso de águas pluviais, reuso de águas cinzas, utilização de dispositivos economizadores) em substituição ao sistema tradicional.

1.1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral do trabalho, é essencial atingir alguns objetivos específicos:

1. Analisar os perfis de consumo de água no Brasil, e os aparelhos sanitários utilizados, com foco nos fatores que os influenciam: renda, tipo da edificação, número de habitantes e localização geográfica; características técnicas e frequência de uso, entre outros.
2. A partir dessa análise, propor um modelo matemático que traduza essas características (tomados como dados de entrada) em fluxos de caixa ao longo do tempo, para que seja determinado o período de retorno dos investimentos feitos em medidas para a economia de água.
3. Transformar o modelo matemático em software, um *plug-in* para o Revit®.

2 BASE TEÓRICA

2 BASE TEÓRICA

2.1 A IMPORTÂNCIA DA ÁGUA

A água sempre foi um fator determinante para o desenvolvimento das civilizações. Devido à sua necessidade para consumo e para a realização das mais variadas atividades na sociedade, todas as civilizações, desde a antiguidade, se fixaram ao redor de grades mananciais. A água é fundamental para a saúde do ser humano, assim como de todo o ecossistema. Todas as atividades humanas, desde a agricultura até as mais variadas atividades industriais, dependem da água para serem realizadas.

A revolução industrial contribuiu para o crescimento populacional desordenado, transformando as cidades em grandes centros. Com relação à agua, esse crescimento desordenado e concentrado aumentou bastante a demanda em locais específicos. Essa demanda crescente tornou necessária a busca por mananciais cada vez mais distantes das áreas urbanas, exigindo soluções caras e complexas.

O lançamento de águas residuárias sem qualquer tratamento em corpos hídricos agrava o problema, dificultando a captação, e encarecendo seu tratamento, que em alguns casos se torna economicamente inviável.

2.2 A ESCASSEZ DA ÁGUA

Algumas regiões do mundo (como oriente médio e oeste dos Estados Unidos) há muito são caracterizadas pela escassez de água, e precisaram desenvolver políticas a fim de otimizar seu uso. Outras, como é o caso do Brasil, sempre foram sinônimo de abundância desse recurso. Contudo, devido ao fato de o Brasil ser um país de dimensões continentais, ele possui diversos tipos de clima: equatorial, tropical, semiárido e subtropical. Mesmo no caso das regiões de clima tropical, como é o caso da região Sudeste, a maior seca dos últimos 80 anos (SANEAR, 2015, p. 14) nos municípios brasileiros, que se abateu sobre a região e se prolongou pelos anos de 2014 a 2016, mostrou que essa noção não está tão correta.

Existe uma séria desigualdade entre as regiões do Brasil quando se trata de

concentrações de chuvas. Sobretudo o nordeste brasileiro, de clima semiárido, sempre sofreu com longas estiagens. Mas nesses últimos cinco anos outras regiões experimentaram esse fenômeno. Os estados de São Paulo e Espírito Santo chegaram a enfrentar períodos de racionamento/rodízio de água (CESAN, 2014; SABESP, 2015).

Outro problema surge de um movimento natural da água: o ciclo hidrológico. Com a urbanização, a impermeabilização do solo é cada vez maior nas grandes cidades. Isso faz com que toda a água escoe, chegando rapidamente aos rios e posteriormente ao mar. Fora dos grandes centros, o mesmo problema é causado pela falta de vegetação, necessária para que a água infiltre no solo. Esse movimento traz duas consequências: cheias na época de chuvas intensas, e seca nas épocas de estiagem.

As precipitações desiguais, naturais devido aos diferentes tipos de climas, mas ampliado pelas mudanças climáticas, o mal uso da água e o crescimento populacional tem ampliado os problemas de abastecimento. Atualmente 26 países (com uma *população* de 262 milhões de pessoas) enquadram-se na categoria de áreas com escassez de água. No Oriente Médio, 9 dos 14 países que compõem a região estão nesse grupo, e em alguns deles existe a expectativa de que a população duplique nos próximos 25 anos (LEITE, 2003).

A solução do problema passa pelo aumento da eficiência no uso da água tratada que é distribuída. É preciso que se comece a adequar a qualidade da água utilizada à qualidade exigida pelo fim a que se destina.

2.2.1 Iniciativas nacionais e internacionais de combate ao problema

A escassez de água é um problema muito maior em alguns lugares do mundo do que no Brasil, mesmo no semiárido nordestino. Diversas iniciativas, em âmbito mundial, tem sido tomadas para enfrentar o problema. No dia 22 de março de 1992, foi criado pela ONU (Organização das Nações Unidas) o dia mundial da água. Essa se tornou uma data dedicada à discussão do tema. Na data de sua criação, a ONU divulgou a “Declaração Universal dos Direitos da Água”, com uma série de medidas, sugestões e informações para despertar a consciência da população e dos governantes em

relação à preservação desse valioso recurso.

No Brasil, em 1996, a Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) criou o Programa de Uso Racional da Água (PURA). Ele envolvia ações tecnológicas e de conscientização da população quanto ao desperdício de água. O programa surgiu com os seguintes objetivos (SÃO PAULO, 2015):

- conscientizar a população, levando a mudanças de hábitos;
- preservar os mananciais;
- reduzir os custos com tratamento de esgoto;
- incentivar o desenvolvimento de novas tecnologias relacionadas à redução do consumo de água;
- diminuir o consumo dos insumos utilizados no tratamento da água, como energia elétrica.

Em 1998, surgiu no Brasil o Programa Setorial de Qualidade de Louças Sanitárias para Sistemas Prediais (HAMZO, 2005), vinculado ao Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade da Habitação (PBQP-H). Os principais objetivos do programa eram: garantir que as louças sanitárias comercializadas tivessem desempenho satisfatório; garantir que as louças sanitárias obedecessem às normas técnicas; e garantir que as louças sanitárias atendessem às diretrizes municipais, estaduais e federais para o uso racional da água (BRASIL, 2015). O programa controla a qualidade das louças produzidas pelas maiores empresas do Brasil, que dominam 98% do mercado brasileiro.

O valor padrão de 6,8 litros para volume de descarga de bacias sanitárias com caixa acoplada, que aparece na norma ABNT NBR 15097:2011-1 (“Aparelho sanitário de material cerâmico – Requisitos e métodos de ensaio”), foi determinado nesse programa. Através dele, pretende-se garantir que pelo menos 90% das louças sanitárias comercializadas no Brasil atenda aos requisitos especificados nas normas técnicas (BRASIL, 2015).

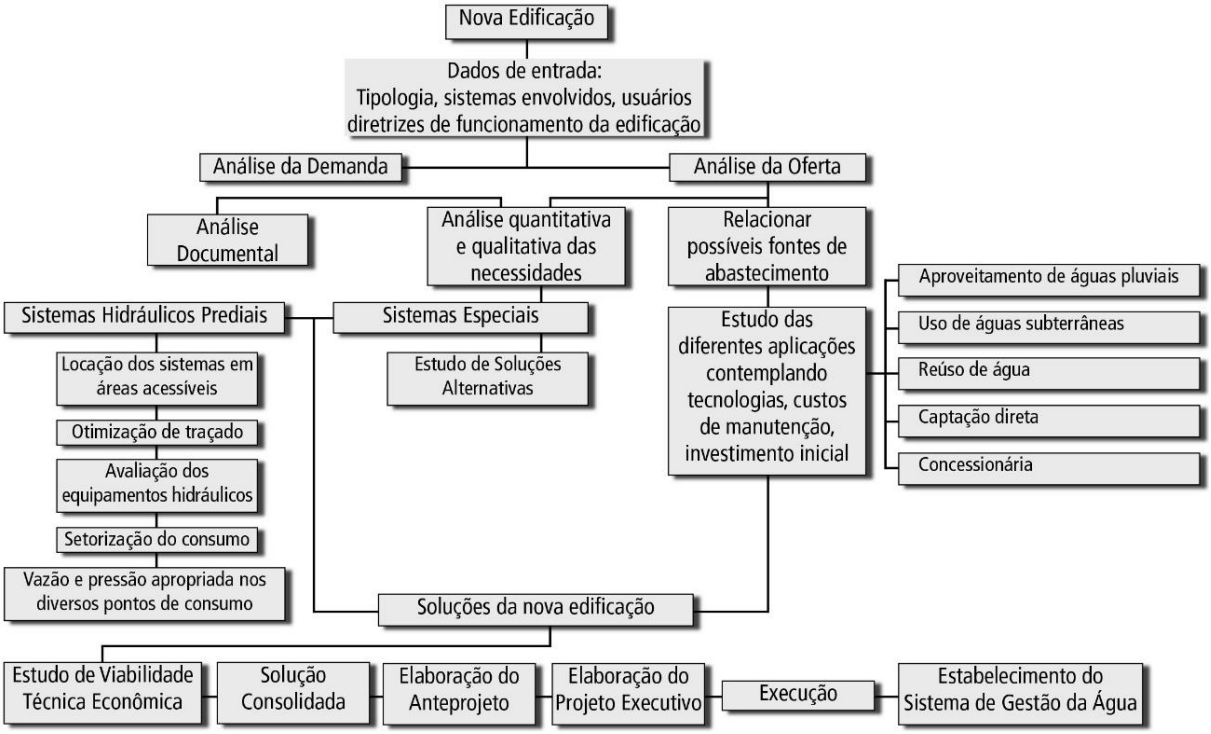
O Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, um programa da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, é mais uma

iniciativa muito positiva para a conservação da água no Brasil. Ela tem por objetivo geral promover o uso racional da água no país. Tem como objetivo específico: promover economia da água utilizada para consumo em áreas urbanas, através de ações tecnológicas, normativas, econômicas e institucionais (BRASIL, 2015). O programa possui uma série de documentos técnicos disponibilizados gratuitamente à população – os Documentos Técnicos de Apoio –, que servem como base para projetos na área.

2.3 ECONOMIA DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES

Programa de Conservação de Água (PCA) é qualquer conjunto de medidas voltadas à economia de água, através da redução do consumo, redução do desperdício, ou adoção de medidas para reaproveitamento (reuso) da água. A Figura 1 resume as etapas de implantação:

Figura 1 – PCA em edificações novas



Fonte: ANA; FIESP; SINDUSCON (2005, p. 41)

Nesse cenário ganham importância as fontes não convencionais de água, por muito tempo desprezadas. Sistemas de reaproveitamento de águas pluviais e de águas cinzas geram um recurso hídrico complementar que pode ser usado para fins menos

nobres. Surgem dois conceitos importantes: gestão da oferta, que é o aumento de suprimento de água, através da utilização de fontes alternativas, e gestão da demanda, que é a conservação da água, através de um consumo consciente, voltado para a economia.

2.3.1 Padrões de demanda

Além das perdas propriamente ditas, o próprio comportamento do usuário tem grande influência no consumo. Um consumo exagerado também configura desperdício. Os variados comportamentos que diferentes usuários podem ter no uso da água são chamados de *padrões de demanda* (ou *perfis de consumo*). Existem inúmeros fatores que influenciam os padrões de demanda das populações: clima, cultura, grau de desenvolvimento, informação e conscientização da população, classe social e renda familiar, modo de cobrança, preço da água, entre outros.

Um dos primeiros trabalhos que tratavam de padrões de demanda foi realizado nas cidades inglesas de Malvern e Mansfield (THACKRAY; COCKER; ARCHIBALD, 1978). Essa pesquisa foi feita em 1971, e valeu-se de leituras diárias dos hidrômetros e anotações dos moradores quanto ao tempo e frequência de utilização dos equipamentos hidráulicos. A determinação dos consumos específicos nos diversos pontos de utilização foi feita a partir da compilação das anotações, e de uma análise por regressão linear (BARRETO, 2008).

Tabela 1 – Usos da água nas cidades de Malvern e Mansfield

Uso da água		Malvern		Mansfield	
		Litros por dia e por pessoa	**%**	**Litros por dia e por pessoa**	**%**
Lavagem de carro	com mangueira	< 0,05	< 0,05	0,1	0,1
	com balde	0,3	0,3	0,4	0,4
Rega de jardim		3,8	3,9	2,1	2,1
Irrigação de gramado		0,3	0,3	1,0	0,1
Banho de banheira		14,7	15,0	14,8	15,1
Banho de chuveiro		1,6	1,6	1,1	1,1
Descarga de bacia		30,0	30,7	33	33,6
Triturador de lixo		0,3	0,3	Não disponível	Não disponível
Lavadora de roupa		7,5	7,7	9,7	9,9
Lavagem de roupa (tanque)		2,7	2,8	4,0	4,1
Lavagem de louça		0,3	0,3	0,3	0,3
Uso básico		36,3	37,1	32,6	33,2
Total		97	100,0	98,2	100,0

Fonte: Barreto (2008, p. 26)

A Tabela mostra um resumo dos resultados obtidos no estudo. No entanto, esses resultados são aplicáveis apenas às cidades pesquisadas, e à época de realização dos estudos. Esses padrões variam enormemente de região para região, e no decorrer do tempo.

No caso brasileiro, é interessante citar o estudo conduzido por Barreto (2008). Em seu estudo, que trata da determinação de perfis de consumo residenciais, ele deixa claro que a pesquisa tem por objetivo analisar o perfil de consumidores típicos, na faixa de 15 m^3 a 20 m^3 por mês. Na definição desses consumidores também influenciaram a renda e a escolaridade. As residências analisadas tinham, todas, três moradores. Os endereços foram definidos por meio de um critério estatístico de amostragem, considerando: número de ligações, consumo médio mensal, idade e capacidade dos hidrômetros, entre outros.

Nos consumidores selecionados, foram instalados *data-loggers* (equipamentos que gravam dados ao longo do tempo) junto ao hidrômetro em pontos internos e no cavalete da residência. Os dados eram posteriormente descarregados e analisados por um computador. A seguir é apresentado um quadro com os passos para a determinação do perfil de consumo apresentados no estudo (Quadro 1).

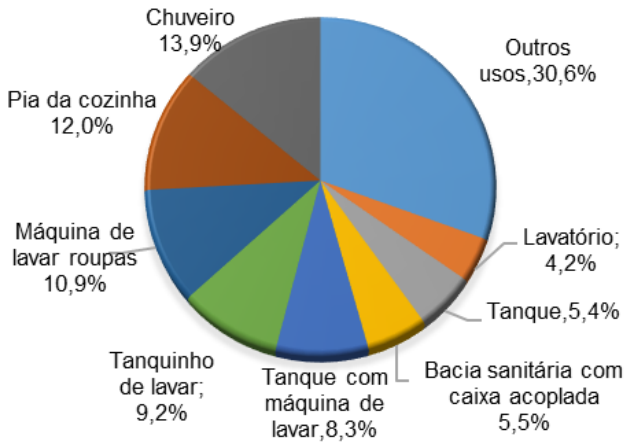
Quadro 1 – Passos para o estudo do perfil de consumo em residências

a)	Instalação dos equipamentos de monitoração (hidrômetro mais *data-logger* no cavalete de entrada e pontos de utilização).
b)	Aplicação de um questionário de caracterização do imóvel e perfil socioeconômico dos residentes.
c)	Monitoramento do consumo total e interno por sete dias consecutivos, de modo a cobrir todos os dias da semana (úteis e fim de semana).
d)	Assistência ao morador por meio de acompanhamento por telefone.
e)	Retirada dos equipamentos e reconstituição da instalação conforme o estado original.
f)	Descarregamento dos dados coletados pelo *data-logger* para o microcomputador.
g)	Validação e análise da consistência dos dados coletados.
h)	Conversão dos valores para unidades de volume e vazão.
i)	Cálculo dos consumos dos aparelhos.

Fonte: adaptado de Barreto (2008, p. 30)

É relacionada uma série de limitações dos dados obtidos, que incluem: número pequeno de residências monitoradas; restrição dos dados ao conjunto estudado; curto período de monitoramento (sete dias) etc. Mas ao final é apresentado o perfil de consumo resultante (Figura 2):

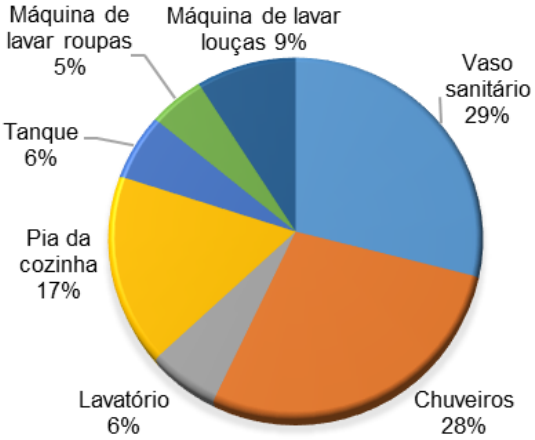
Figura 2 – Perfil de consumo típico resultante



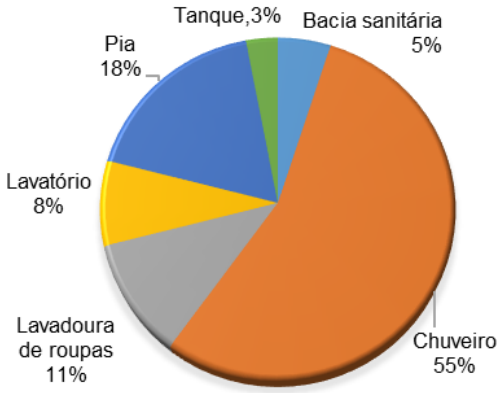
Fonte: Barreto (2008, p. 38)

Todas essas considerações feitas a respeito dos dados, e as limitações a respeito dos resultados, mostram como é complexa a proposição de padrões de demanda. Apesar disso, esses padrões são muito importantes no momento de estudo de medidas economizadoras. A seguir são apresentados alguns outros padrões e demanda para o Brasil encontrados na literatura (Figura 3):

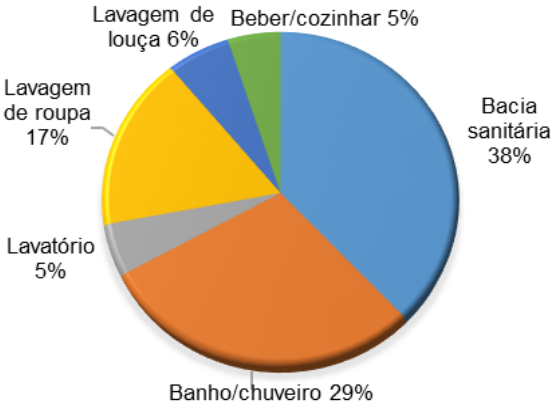
Figura 3 – Padrões de demanda para o Brasil



a) Pesquisa realizada pela USP. Programa de Uso Racional da Água – PURA. 1999.



b) Pesquisa realizada pelo IPT/PNCDA. 1998.



c) Pesquisa realizada por Gonçalves (1995) para a região metropolitana de São Paulo. Fonte: (a) USP (1999, apud MAYOK, 2009, p. 16); (b) ROCHA; BARRETO; IOSHIMOTO (1998, p. 37); (c) GONÇALVES (1995, p. 94)

Vale citar ainda a tabela resumo, apresentada por Rodriguês (2005), compilando dados de outros oito estudos sobre o tema (Tabela 2):

Tabela 2 – Resumo dos padrões de demanda de vários estudos

Local / Fonte	**S P (USP) Água. (2002)**	**USA (AWWAR,1998) Tomaz (2001b)**	**USA (Brown / Caldwell, 1986) Tomaz (2000)**	**Dinamarca (Jensen, 1991) Tomaz (2000)**		**Holanda (IWSA, 1993) Tomaz (2000)**		**Bangkok White et al (2003)**	**EBMUD White et al (2003)**	**Sydney White et al (2003)**
	%	%	**%**	Cons **l/d/hab**	**%**	Cons **l/d/hab**	**%**	**%**	**%**	**%**
Bacia sanitária	29	28	35	40	20	42,7	32	15	26	24
Chuveiro / banhos	28	19	28	40	20	47,5	35	35	25	37
Pia de cozinha / lav louças	22	16	15	40	20	9,5	7	16	19	11
Tanque / Máq lavar roupa	15	21	22	30	15	25,6	19	23	27	27
Outros consumos	6	16	–	50	25	9,6	7	11	3	1
Total	100	100	100	200	100	134,9	100	100	100	100

Fonte: adaptado de Rodrigues (2005, p. 23)

A diversidade de dados, com valores tão distintos entre si, é mais uma demonstração de como é difícil estimar demandas, e propor padrões. E todos esses dados tratam de edificações residenciais, ou seja, de forma alguma eles podem ser extrapolados para outros tipos de edificações, como comerciais, de ensino etc. A maioria dos padrões de demanda encontrados na literatura dizem respeito a edificações residenciais, mas existem alguns estudos dedicados a propor padrões para outros tipos.

A importância dos padrões para políticas de redução do consumo está na possibilidade de se ter, desde o princípio, uma indicação dos locais e usos em que mais se consome água numa edificação, ou seja, onde os benefícios de ações que visem a economia serão maiores.

2.3.2 Redução do consumo

A redução do consumo pode ser buscada através de três frentes: diminuição do desperdício (através da correção de perdas e vazamentos), conscientização do usuário e utilização de dispositivos economizadores. A utilização de dispositivos economizadores tem a vantagem de, após instalados, promover a redução do consumo independentemente do comportamento dos usuários.

Dispositivos economizadores são equipamentos e acessórios hidráulicos que apresentam maior eficiência hídrica. Os aparelhos hidráulicos são os responsáveis pelo consumo (onde a água é efetivamente consumida), dessa forma suas características técnicas têm grande influência sobre os índices de consumo.

Esses equipamentos são especialmente importantes em locais públicos, onde o usuário não se sente obrigado a zelar pela economia, sobretudo pela ausência de campanhas e políticas permanentes de conscientização.

2.3.3 Dispositivos economizadores

Em seu livro “Instalações Hidráulicas e Sanitárias”, Hélio Creder apresenta o consumo per capta estimado para residências de 150 litros/dia, e para apartamentos de 200 litros/dia (2006, p. 9). Esses são valores médios genéricos, recomendados para serem utilizados em projetos. No entanto, diversos estudos trazem estimativas de consumo, obtidas através de pesquisas científicas. A tabela a seguir foi produzida por Aguiar (2011, p 24):

Tabela 3 – Indicadores de consumo per capita encontrados na literatura.

Referência	Local	Edificação	Consumo (l/pessoa/dia)
Aguiar (2011)	Vitória, ES	Multifamiliar (com reuso)	278
Rodrigues (2005)	Vitória, ES	SIMIC BASC SECO	155 189 223
Agostini (2009)	Vitória, ES	Multifamiliar (com reuso)	236
Pertel et al. (2008)	Vitória, ES	Multifamiliar (verão)	214
Pertel et al. (2008)	Vitória, ES	Multifamiliar (inverno)	237
Cheung et al. (2009)	Florianópolis – SC	Unifamiliar baixa renda com AR e Ach	144
Ilha e Gonçalves (1994)	Ref. projetos	Apartamentos	200
Macintyre (1986)	Ref. projetos	Apartamentos	200
Barreto (2008)	SP, Brasil	Residências	262,7
Kose et al. (2004)	Japão	Multifamiliar 1 dormitório	292
Jamrah et al. (2006)	Amã, Jordânia	Residências	84
Custódio e Ferreira (2005)	Goiânia, GO	Unifamiliares	376

Notas: SIMIC – Edifícios dotados de bacia sanitária com caixa de descarga acoplada e sistema de medição individualizada; BASC – Edifícios dotados de bacia com caixa de descarga acoplada; SECO – Edifícios sem dispositivos economizadores; Ref. – referência.
Fonte: adaptado de Aguiar (2011, p. 58)

Esses são valores de consumos médios. O valor real está diretamente relacionado aos hábitos dos moradores. Outros fatores como excesso de pressão disponível nos pontos de utilização e o tipo (as caraterísticas técnicas) dos equipamentos utilizados influenciam fortemente esse valor.

Existem diversos tipos de equipamentos eficientes disponíveis economizadores no mercado nacional. Em alguns casos, existe mais de um tipo de equipamento economizador para o mesmo correspondente tradicional (como é o caso das torneiras). Em outros casos trata-se de apenas uma peça, acoplada ao equipamento tradicional, dotando-o de função economizadora. O Anexo U apresenta os principais. Nos anexos de A a T estão relacionadas as tabelas encontradas na bibliografia consultada que mostram a economia gerada pela utilização desse aparelhos (por referência).

Para bacias sanitárias antigas, por exemplo, o volume por descarga pode variar entre 9 e 12 litros – segundo Ilha; Gonçalves; Oliveira Júnior (2002); no entanto modelos mais modernos consomem apenas 6 litros por descarga, chegando a 3 litros no caso

de dispositivos de duplo acionamento. Na verdade, 6 litros por descarga – também referido como 6 litros por fluxo (6 LPF) – é o volume nominal de descarga, o volume real é de 6,8 litros por fluxo, admitindo variação de 0,3 litros por fluxo (ABNT, 2011). No caso da bacia de volume nominal 3 LPF, o volume real é 3,4 litros por fluxo.

A norma ABNT NBR 15097-1:2011, ao definir o funcionamento das bacias sanitárias com volume total de 6,8 litros por descarga, não faz distinção entre o tipo de bacia sanitária:

> *"Uma bacia sanitária deve atender às exigências estabelecidas em 4.4.2.7 a 4.4.2.15, quando ensaiada de acordo com os Anexos constantes nesta Norma e submetida a uma descarga, com volume de 6,8 L, produzida pela própria caixa de descarga (no caso de caixa acoplada ou integrada), válvula de descarga ou caixa de descarga convencional (no caso de bacia sanitária convencional)"* (ABNT, 2011, p. 14)

O consumo da água nos pontos de utilização está diretamente ligado à pressão disponível naquele ponto. Por isso, em prédios de vários andares o consumo será maior nos apartamentos dos primeiros pavimentos, ainda que sejam idênticos aos apartamentos dos pavimentos superiores. Além disso, equipamentos convencionais não possuem mecanismos para restringir a vazão. Nesse sentido, a utilização de certos dispositivos economizadores (reguladores e restritores de vazão) terá maior impacto nos primeiros pavimentos.

No entanto, para que essa medida seja sentida pelo usuário, é preciso que seu efeito se traduza imediatamente na redução no valor da conta de água. Em edificações unifamiliares, isso acontece naturalmente, mas no caso de edifícios, depende de como a cobrança pela água é feita.

2.3.4 Medição individualizada

Em edificações multifamiliares, a medição do consumo para a cobrança pela concessionária pode ser feita através de um único hidrômetro, para o edifício, e dividido igualmente entre os moradores, ou através de hidrômetros individuais, que medem o consumo de cada apartamento. Essa opção é chamada de medição

individualizada.

Historicamente, todos os edifícios contavam com um único hidrômetro, devido à simplificação que isso acarreta às instalações prediais. Contudo, com o surgimento da preocupação com a redução do consumo, começaram a surgir legislações voltadas a promover iniciativas nesse sentido, como a medição individualizada (como o Código das Águas, e a Política Nacional de Recursos Hídricos). Ela foi se tornando obrigatória em vários municípios e estados, por leis próprias, até se tornar obrigatória para todo o país pela Lei 13.312, aprovada em 2016.

Rodrigues (2005) fez um estudo sobre a redução percentual do consumo alcançada simplesmente com a adoção da medição individualizada, chegando ao valor de 30,5%. Yamada, Prado e Ioshimoto (2001) apresentam o valor de 17%, e Coelho e Maynard (1999), 25% para a redução do consumo.

2.3.5 Fontes alternativas

Segundo ANA, Fiesp e Sinduscon-SP (2005), são fontes alternativas de água as que não estão sob controle de concessionárias, que não sofrem cobrança pelo uso ou cujos padrões não a qualificam como potável. Mas uma outra forma de definir fontes alternativas é através do conceito de “substituição de fontes”. Em 1973, a Organização Mundial da Saúde (OMS, 1973) já defendia que a água fosse classificada de acordo com o grau de pureza requerido pelo uso, de forma que águas de qualidade superior não fossem usadas para fins que não requeressem tal grau de pureza.

Nesse contexto, Hespanhol (2002) cita a substituição de fontes como a alternativa mais plausível para aumentar a oferta de água, utilizando fontes alternativas para satisfazer a demanda de finalidades menos nobres. As principais fontes alternativas existentes hoje são águas de reuso (águas cinzas tratadas) e águas pluviais.

2.3.5.1 Reuso de águas cinzas

Segundo Lavrador Filho (1987, apud MANCUSO; SANTOS, 2003), reuso de água é o aproveitamento de água já utilizada anteriormente, independente do fim ser ou não o

mesmo que o original. Águas cinzas, por sua vez, são efluentes domésticos que não incluem os da bacia sanitária e pia da cozinha. O reuso pode ser direto ou indireto, planejado ou não planejado (LAVRADOR FILHO, 1987, apud MANCUSO; SANTOS, 2003). De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS, 1973), tem-se a seguinte distinção:

- reuso indireto: ocorre quando água já utilizada, uma ou mais vezes, para fins domésticos ou industriais, é descarregada em águas superficiais ou subterrâneas, e utilizada novamente, em forma diluída;
- reuso direto: é o uso planejado e deliberado de esgoto tratado para certas finalidades, como irrigação, recreação, indústria, recarga de aquíferos e consumo.

Em 1987, Lavrador Filho (apud MANCUSO; SANTOS, 2003) complementou o conceito de reuso com a seguinte definição:

- reuso indireto não planejado: ocorre quando a água já utilizada pelo homem, em forma de efluente, é despejada no corpo hídrico e captada novamente a jusante. Esse efluente é captado, diluído, de maneira não intencional e não controlada;
- reuso indireto planejado: ocorre quando efluentes tratados são despejados, em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos, de forma planejada, de modo a serem utilizados a jusante, em sua forma diluída, objetivando algum benefício;
- reuso direto planejado: ocorre quando os efluentes, depois de tratados, são encaminhados diretamente para o local de reuso.

Existem casos de tratamento de águas cinzas até atingir os padrões de qualidade para qualquer tipo de reuso, inclusive o reuso potável direto. Um exemplo é o que acontece na estação espacial internacional. No entanto, o custo de um tratamento com esse grau de eficiência torna o processo inviável economicamente. Em razão disso, a quase totalidade das iniciativas existentes hoje em dia se enquadram como reuso não potável (GONÇALVES, 2006).

O projeto de um sistema de reaproveitamento de águas cinzas inclui: determinação dos pontos de coleta e dos pontos de uso; estimativa dos volumes gerados e das

vazões requeridas; determinação do volume de armazenamento; definição dos parâmetros de qualidade requeridos, em função do uso; previsão de tratamento da água; previsão de sistema de recalque; dimensionamento da rede de distribuição (ANA; FIESP; SINDUSCON-SP, 2005). As tubulações de coleta de água cinza bruta devem ser dimensionadas da mesma forma que tubulações de esgoto; as tubulações de distribuição de água cinza tratada, igualmente, devem ser dimensionadas da mesma forma que as tubulações de água fria (potável). Quanto ao volume de esgoto gerado nos pontos, pode-se estima-lo igual ao consumo de água.

Os sistemas de reuso de águas cinzas em edificações são compostos pelas seguintes partes (OLIVEIRA et al., 2007; MAYOK, 2009):

- sistema de coleta: tubulações que transportam os efluentes provenientes de chuveiro, lavatório e máquina de lavar roupas ao sistema de armazenamento;
- sistema de armazenamento: composto por duas partes; a parte inferior armazena os efluentes dos pontos de coleta para posterior tratamento, e a parte superior recebe a água cinza tratada para abastecer os pontos previstos;
- sistema de tratamento: responsável por promover o tratamento e a desinfecção das águas cinzas. O tipo e o grau de tratamento estão relacionados à finalidade que será dada a essa água, tal que ao final do tratamento sua utilização não traga riscos nem ao ambiente nem aos usuários.

Os possíveis usos não potáveis para a água cinza tratada incluem (GONÇALVES, 2006):

- lavagem de roupas;
- lavagem de carros;
- lavagem e vidros;
- lavagem de calçadas;
- irrigação de jardins;
- descarga de vasos sanitários;
- utilização em piscinas;
- combate a incêndios;
- água para caldeira;
- agricultura;

- processos industriais específicos;
- recarga de aquíferos.

2.3.5.1.1 Tratamento

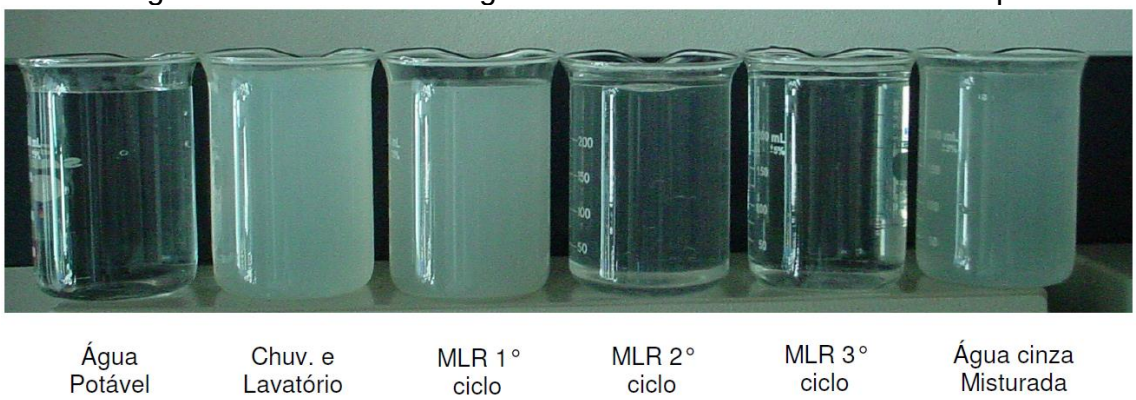
Alguns estudos se voltaram à caracterização das águas cinzas no Brasil. Foram relatados altos teores de matéria orgânica, altos teores de sulfatos, turbidez, e contaminação fecal (GONÇALVES, 2006); grandes concentrações de sólidos suspensos e dissolvidos, pH alcalino, matéria orgânica e inorgânica, coliformes termotolerantes e outras bactérias (MAYOK, 2009); sabão e outros produtos para higiene (JEFFERSON et al., 2000). Mayok (2009) relata a existência de partículas de terra, areia, cabelos e fibras de roupas nas águas cinzas, e ressalta a importância de se adotar medidas para evitar o entupimento do sistema.

Os fatores que influenciam a composição e as características das águas cinzas são:

- comportamento do usuário (MAYOK, 2009; NSW HEALTH, 2000; NOLDE, 1999);
- utilização de produtos químicos (MAYOK, 2009; RAMPELOTTO, 2014);
- localização (RAMPELOTTO, 2014; JEFFERSON et al., 2000);
- temperatura ambiente (devido a seu impacto na frequência e duração de banhos) (MAYOK, 2009);
- nível de ocupação (NSW HEALTH, 2000; JEFFERSON et al., 2000);
- faixa etária e classe social dos usuários (RAMPELOTTO, 2014);
- qualidade da água de abastecimento (MAYOK, 2009; RAMPELOTTO, 2014);
- material que compõe a rede de distribuição da residência (MAYOK, 2009)
- implementação de medidas economizadoras (NOLDE, 1999);
- pontos de coleta de água cinza considerados (NOLDE, 1999).

Mayok (2009) fez a caracterização da água cinza coletada de diferentes origens na edificação, afim de verificar qual delas apresentava maiores taxas de: DBO (demanda biológica de oxigênio); coliformes totais e termotolerantes. A Figura 4 mostra o resultado da coleta:

Figura 4 – Amostras de águas cinzas coletadas de diferentes pontos



Fonte: Mayok (2009, p. 116)

O tratamento das águas cinzas é passo fundamental para seu reuso, e conhecer o tipo de efluente é indispensável para a definição do tratamento a ser aplicado (MAYOK, 2009). March, Gual e Simonet (2002) relatam que a segurança microbiológica e a qualidade da água de reuso dependem, principalmente, da desinfecção da água (indicada por cloração).

O sistema de tratamento de águas cinzas deve ser concebido com base na qualidade da água cinza coletada e na qualidade requerida pelo fim pretendido (ANA; FIESP; SINDUSCON-SP, 2005; OLIVEIRA et al., 2007). Os sistemas são mais complexos do que os sistemas de tratamento de águas pluviais devido à maior concentração de poluentes. Incluem: sedimentação; filtração; tratamento aeróbico biológico; desinfecção; coagulação; floculação química; tratamento com cal; filtração de membrana; osmose reversa. (ANA; FIESP; SINDUSCON-SP, 2005).

Gonçalves (2006) afirma que para a obtenção de água de reuso com baixa turbidez, inodora e isenta de micro-organismos patogênicos um tratamento a nível terciário será necessário (tratamento secundário seguido de desinfecção).

Atualmente existem estações compactas (sistemas industrializados) para tratamento de esgotos domésticos, que facilitam muito a implantação em unidades e pequenos conjuntos habitacionais. Tratam-se de sistemas modulares, que ocupam pouco espaço, e podem estar localizados no nível do terreno ou abaixo dele (OLIVEIRA et al., 2007), diminuindo as distâncias de transporte e permitindo o encaminhamento direto dos efluentes tratados para os aparelhos por ele abastecidos.

Além do tratamento apropriado, diversos cuidados adicionais são necessários para que todo o sistema funcione corretamente. Esses cuidados envolvem: identificação e separação dos sistemas; limitação do período de armazenamento; monitoramento; cuidados por parte dos usuários.

A norma que trata sobre o tema, atualmente em discussão na ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), traz uma lista de possíveis usos para a água de reuso tratada (tratada por ela como “água não-potável”): descarga de bacias sanitárias e mictórios; lavagem de áreas externas; irrigação; usos ornamentais; sistemas de resfriamento; e arrefecimento de telhados. E traz os parâmetros de qualidade que devem ser obedecidos para que a água esteja apta aos usos previstos na norma. Ou seja, ela não estabelece classes de acordo com a qualidade, prevendo apenas um padrão para todos os tipos de reuso admitidos por ela.

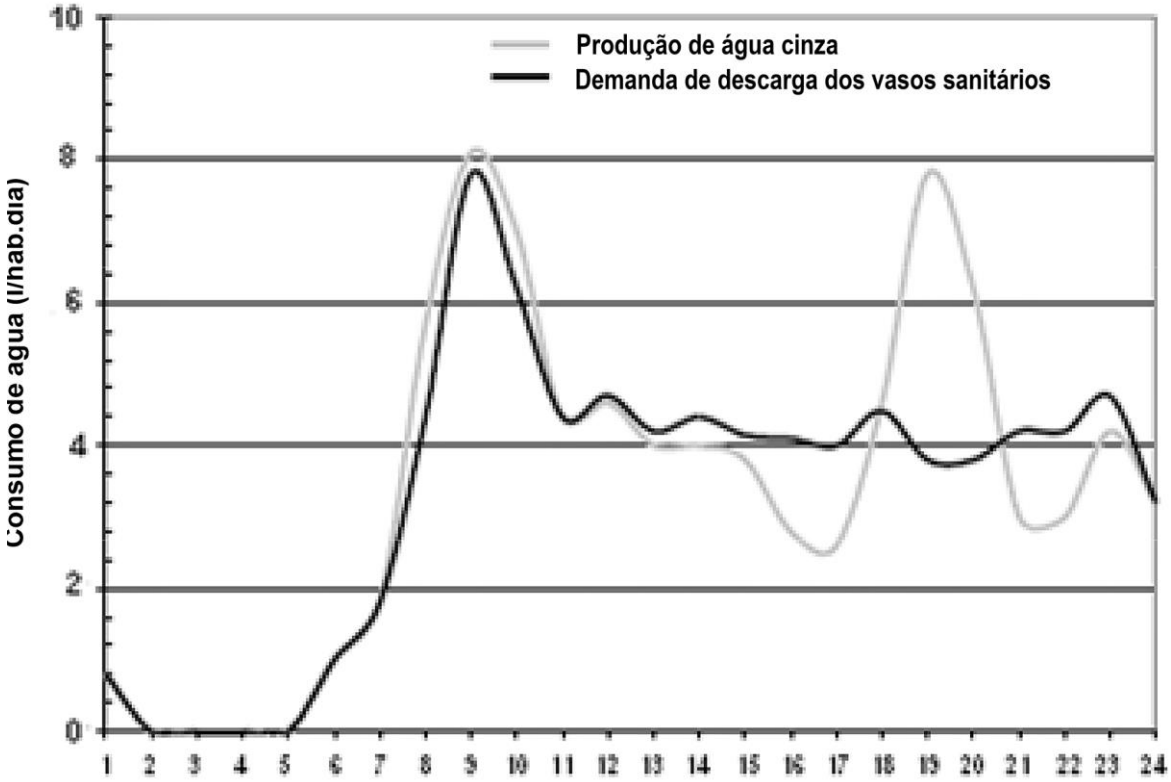
No entanto, a norma traz um parágrafo sobre a utilização para fins não previstos por ela, definindo que nesses casos os parâmetros de qualidade necessários a cada caso devem ser estudados pelo responsável pelo projeto.

2.3.5.1.2 Aceitação e confiabilidade do sistema

Gonçalves (2006) relata que as normas internacionais condicionam o reuso nas residências a diversos fatores, como: obediência a padrões de qualidade e a padrões construtivos e adoção de condutas específicas por parte dos usuários. Ele relata a existência de dois tipos de legislações específicas: as que regulamentam a aplicação da prática de reuso; e as que estabelecem os limites de qualidade da água a ser reutilizada. Segundo ele, os padrões de reuso variam bastante de um país para outro, tanto quanto às tecnologias quanto aos limites aceitáveis para poluentes.

Diferentemente do aproveitamento de águas pluviais, em que a oferta de água está sujeita a fatores climáticos, a produção de águas cinzas se aproxima da demanda por água de reuso nas edificações (GOLÇALVES, 2006). Sunrendran et al. (1998) caracterizaram a produção e a demanda por águas cinzas nas acomodações de uma cidade universitária em Loughborough, na Inglaterra (Figura 5).

Figura 5 – Geração e demanda de águas cinzas típicas em uma cidade universitária



Fonte: adaptado de Sunrendran et al. (1998, apud BAZARELLA, 2005)

Esse gráfico apresenta picos de geração de águas cinzas entre as 07:30 e 11:00 e entre as 18:00 e 20:30, devido aos horários de concentração dos banhos nas residências; e distribuição mais regular do consumo, com picos nos mesmos períodos. Gonçalves (2006) afirma que deve-se considerar, para efeito de projeto, que 80% da geração de água cinza numa edificação estritamente residencial ocorre nos horários de pico.

Para contornar essa diferença temporal entre geração e demanda, e também as diferenças de volume, torna-se necessário (e essencial para o sucesso do sistema) o correto manejo das cargas hidráulicas decorrentes das variações de vazão ao longo do tempo (GONÇALVES, 2006). Os reservatórios de armazenamento podem corrigir esse déficit, mas é preciso ser cauteloso quanto ao tamanho, pois quanto maior o reservatório maior o risco, e também o preço.

Considerando que a demanda por água de reuso é menor do que a geração, o dimensionamento do sistema deve considerar esse desequilíbrio, prevendo tratamento para a porcentagem das águas cinzas geradas correspondente à demanda

e descarte para o excedente (GONÇALVES, 2006).

2.3.5.2 Aproveitamento de águas pluviais

A água pluvial também pode ser utilizada como fonte alternativa, desde que seja verificada a qualidade, e necessidade de tratamento específico, de modo que não comprometa a saúde dos usuários ou a vida útil dos equipamentos sanitários (ANA; FIESP; SINDUSCON-SP, 2005). O aproveitamento de águas pluviais é orientado pelas norma ABNT NBR 15527:2007 (Água da chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos).

O sistema de aproveitamento de águas pluviais consiste no conjunto de elementos destinados a captar, reservar, tratar e distribuir a água da chuva. Ele é composto pelas seguintes partes:

1. Área de captação: pode ser considerada qualquer superfície impermeável (telhados, pátios, áreas de estacionamento, pátios etc.). Devido à melhor qualidade e à diferença de altura normalmente considera-se apenas o telhado como área de captação. A norma ABNT NBR 15527:2007 considera como área de captação a simples projeção vertical do telhado.

Quadro 2 – Períodos de retorno segundo a característica da área a ser drenada

Período de retorno	**Características da área**
1 ano	Áreas pavimentadas, onde empoçamentos possam ser tolerados.
5 anos	Coberturas e terraços.
25 anos	Coberturas e áreas onde extravasamentos não possam ser tolerados.

Fonte: adaptado de ABNT (1989, p. 3)

No entanto, o uso dessa tabela para estimativas realistas de volumes captados tem algumas limitações: ela não apresenta a distribuição ao longo do tempo; nem todas as microrregiões estão representadas nos dados; na maior parte das cidades, o período de observações não foi suficiente para atingir o período de retorno de 25 anos; os dados são do ano de 1957. Felizmente, existem

outras fontes de dados para intensidades pluviométricas no contexto do Brasil: o portal da Agência Nacional das Águas (www.ana.gov.br → Serviços → Informações Hidrológicas → Dados Hidrológicos em Tempo Real) e o portal do Instituto Nacional de Meteorologia (www.inmet.gov.br/portal → Tempo → Tempo agora → Gráficos).

2. Sistema de transporte: composto pelas calhas, que recebem a água que se precipitou sobre a área de captação, encaminhando-a para os tubos de queda (normalmente protegidos por grelhas hemisféricas). O sistema de transporte é dimensionado de acordo com a norma ABNT NBR 10844:1989 (Instalações Prediais de Águas Pluviais).

3. Sistema de gradeamento: empregado para reter materiais sólidos em suspensão (folhas etc.) que adentram as tubulações pluviais. Está anexo ao sistema de transporte, localizado antes do sistema de descarte. O sistema de gradeamento se resume a um único elemento, representado por um obstáculo físico ao fluxo. A existência desse elemento é exigida pela norma. Algumas opções disponíveis são:
    - Grelha hemisférica: elemento instalado no topo do tubo de queda, na ligação com a calha, destinado a impedir a passagem de elementos grosseiros (folhas, detritos etc.)
    - Grade instalada nas calhas: elemento instalado sobre toda a extensão das calhas, destinado a impedir a entrada de elementos grosseiros no sistema.
    - Filtro autolimpante vertical: filtro a ser instalado no próprio tubo de queda, que retira os detritos presentes na água.

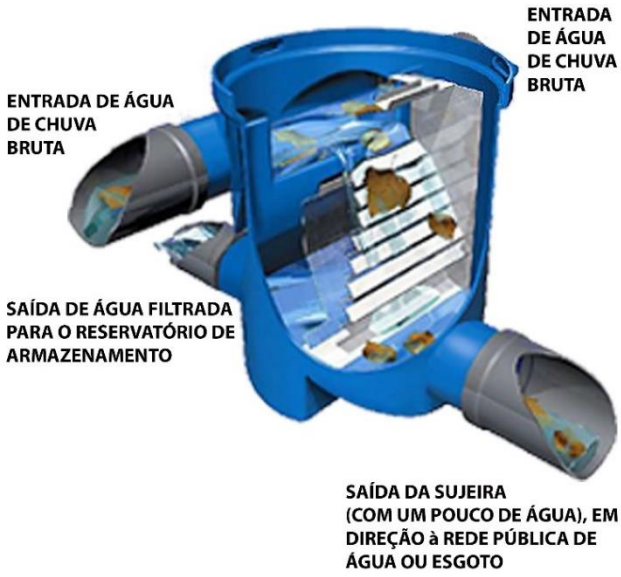
Figura 6 – Filtro autolimpante vertical 3P Technik



Fonte: The Home Depot (2017)

- Filtro autolimpante horizontal: filtro a ser instalado no nível do terreno, antes da ligação com o reservatório de armazenamento. De acordo com as informações do fabricante, sua utilização dispensa a utilização de reservatório de descarte, já que o filtro está ligado à rede de drenagem pluvial, e parte da água é liberada junto com a sujeira.

Figura 7 – Filtro autolimpante horizontal 3P Technik



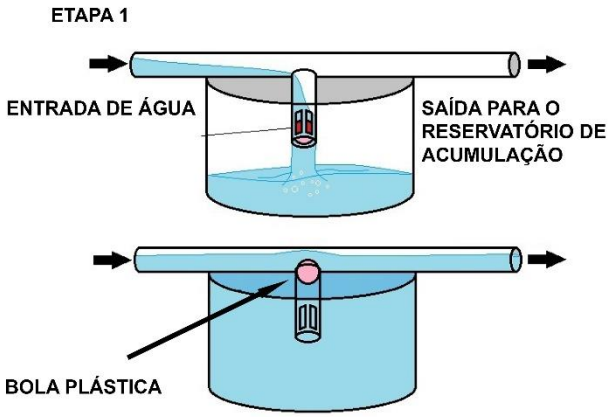
Fonte: adaptado de Tomaz (2003, p. 86)

4. Sistema de descarte: consiste na parte do sistema destinada a descartar a água captada no início da precipitação. Essa água inicial tem qualidade inferior, devido à lavagem que ela realiza dos locais onde passa, incluindo o superfície de captação e o próprio ar. Ela pode conter fezes de aves e roedores, animais

mortos em decomposição, poeira, folhas e galhos de árvores, revestimento do telhado, resíduos de tinta etc. (REBELLO, 2004, apud GONÇALVES, 2006). Diferentemente do sistema de gradeamento, a norma não obriga a utilização de tal sistema. Mas ao admiti-lo recomenda que ele seja automático. Recomenda, ainda, que o volume descartado seja equivalente aos 2 mm iniciais de precipitação, na falta de dados que justifiquem outro volume. Mas o volume descartado varia um pouco, de acordo com os autores e as localidades. Tomaz (2003) relata que na Flórida o volume considerado é o correspondente a uma intensidade de 0,4 mm, e em Guarulhos, de 1 mm. Ele cita Dacach (1990), segundo o qual o reservatório de descarte deve ter capacidade para armazenar entre 0,8 l/m^2 (equivalente a 0,8 mm) e 1,5 l/m^2 (equivalente a 1,5 mm). Gonçalves (2006) cita um estudo realizado na cidade de Vitória, em que foram utilizados três volumes de descarte (0,5 mm, 1,0 mm e 1,5 mm), caracterizados como pequeno, médio e grande.

O sistema de descarte normalmente é dotado de reservatório (reservatório de descarte), pois ele torna mais fácil o descarte do volume exato definido em projeto. Ele é dotado de torneira de boia, que se fecha quando a água atinge o nível definido, fazendo com que a água siga direto para o reservatório de armazenamento. O reservatório de descarte deve possuir um registro na parte inferior, que deve ser aberto ao final de cada precipitação, para que o sistema volte ao seu estado inicial. Essa etapa é manual. Um exemplo de solução é apresentado na Figura 8. O dispositivo pode ser adquirido pronto, ou montado no local da instalação.

Figura 8 – Exemplo de sistema com torneira de boia para reservatório de descarte



a) Funcionamento do sistema.



b) Detalhamento do dispositivo.

Fonte: adaptado de Oliveira et al. (2012, p. 18-19)

Apesar de não ser tomado como tal, o descarte da primeira chuva já constitui uma etapa de tratamento. O filtro de areia também pode ser utilizado, como alternativa ao reservatório de descarte. O volume do reservatório de descarte tem influência direta na qualidade: quanto maior o volume descartado, melhor a qualidade da água armazenada (GONÇALVES, 2006). Gonçalves (2006) ilustrou essa diferença para os valores de cloretos e de sulfato, em pesquisa realizada na Universidade Federal do Espírito Santo, para volumes de descarte equivalente a 0,5 mm, 1,0 mm e 1,5 mm de chuva. As concentrações de cloretos foram reduzidas em cerca de 50%; já as concentrações de sulfato foram reduzidas em cerca de 80%. A mesma pesquisa mostrou melhora na qualidade da água, em relação a coliformes totais, sólidos totais, sólidos totais suspensos e sólidos totais dissolvidos.

A qualidade da água precipitada não é a mesma após tocar a superfície de captação, já que a primeira água realiza a limpeza da superfície. O descarte da chuva inicial tende a reduzir esse efeito. Após ser captada e passar pelo filtro que remove materiais grosseiros a água (já tendo preenchido o reservatório de descarte) será conduzida ao reservatório de acumulação.

5. Sistema de armazenamento: consiste no reservatório destinado à reservação da água, depois de tratada, para abastecimento dos pontos previstos. Portanto, seu dimensionamento envolve as características da captação, o índice pluviométrico local e a demanda prevista. É o elemento mais caro de todo o sistema, na maioria dos casos (AMORIM; PEREIRA, 2008; RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011; LOPES; JÚNIOR; MIRANDA, 2015), e deve ser criteriosamente dimensionado, afim de tornar o sistema economicamente viável.

   A norma ABNT NBR 15527:2007 estabelece que os reservatórios devem atender à norma ABNT NBR 12217:1994 (“Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público”). Ela cita seis métodos para o dimensionamento dos reservatórios de acumulação:

   - Método de Rippl; (TOMAZ, 2003; RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011, p. 7): utiliza “diagramas de massas” (gráficos que mostram o acumulo de volumes em função do tempo). Esses diagramas podem ser obtidos, para inúmeras localidades no Brasil, nos portais da Agência Nacional das Águas e do Instituto Nacional de Meteorologia, como mostrado anteriormente. O método pode ser utilizado para chuvas mensais ou diárias. No primeiro caso, considera-se a série histórica mais longa disponível; no segundo caso, considera-se a série histórica dos últimos 10 anos. Ele pode ser utilizado para demandas constantes ou variáveis.
   - Método da simulação: supõe-se conhecido o volume, e analisa-se o que acontece, se vai faltar ou sobrar água. Pode-se arbitrar, e verificar o desempenho, de diferentes volumes de reservatório.
   - Método de Azevedo Netto: de acordo com a norma ABNT NBR 15527:2007, o volume do reservatório de águas pluviais deve ser calculado pela Equação 1:

$$V = 0{,}042 \cdot P \cdot A \cdot T \quad \text{(Eq. 1)}$$

onde: P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em mm; A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em m^2; T é o valor numérico do número de meses com pouca chuva. No entanto, a norma não especifica o critério para definir um mês como sendo de pouca chuva.

- Método prático alemão: de acordo com a norma ABNT NBR 15527:2007, por este método o volume do reservatório será o menor valor entre 6% do volume de água pluvial anual captado e 6% da demanda anual de água não potável.
- Método prático inglês: de acordo com a norma ABNT NBR 15527:2007, por este método o volume do reservatório será dado pela Equação 2:

$$V = 0{,}005 \cdot P \cdot A \quad \text{(Eq. 2)}$$

onde: P é o valor numérico da precipitação média anual, em mm; A é o valor numérico da área de coleta em projeção, em m^2. O volume é dado em litros.

- Método prático australiano: segundo a norma ABNT NBR 15527:2007, por este método o volume de chuva é dado pela Equação 3:

$$V = A \cdot C \cdot (P - I) \quad \text{(Eq. 3)}$$

onde: C é o coeficiente de escoamento superficial; P é a precipitação média mensal; I é a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação (a norma sugere adotar 2 mm); A é a área de coleta; e Q é o volume mensal produzido pela chuva.

Visto a diversidade de métodos, uma comparação entre eles se faz extremamente útil. Alguns levam em conta a distribuição pluviométrica média e a demanda de água pluvial mensais (métodos de Rippl e da simulação), enquanto outros consideram apenas a área de captação e a média anual das precipitações (métodos alemão e inglês) (LOPES; SILVA JÚNIOR; MIRANDA,

2015).

O dimensionamento pelo método de Rippl baseia-se na máxima diferença acumulada entre a oferta e a demanda de água pluvial, resultando em grandes reservatórios (LOPES; SILVA JÚNIOR; MIRANDA, 2015). Moruzzi, Oliveira e Carvalho (2008) relatam que o aumento do volume descartado inicialmente, assim como o aumento da demanda, resultam num aumento do volume do reservatório de armazenamento, devido ao fato de o método objetivar o atendimento pleno da demanda. Por outro lado, segundo os mesmos autores, o aumento da área de captação resulta numa diminuição do reservatório, devido ao aumento do volume captado por área.

O dimensionamento pelo método da simulação baseia-se no fator pluviométrico, resultando em tamanhos ideais para o suprimento da vazão nos meses de poucas chuvas. O dimensionamento pelo método prático alemão leva em conta apenas a precipitação e a demanda de águas pluviais anuais; a área de captação não é considerada. Igualmente, por se tratar de um método empírico, a eficiência não é levada em conta (LOPES; SILVA JÚNIOR; MIRANDA, 2015).

O dimensionamento pelo método prático australiano baseia-se na precipitação e na demanda pluviométrica mensais, conduzindo a valores mais precisos, e criteriosos. O método de Azevedo Neto é o único que relaciona a capacidade do reservatório com a quantidade de meses com poucas chuvas (LOPES; SILVA JÚNIOR; MIRANDA, 2015). Lopes, Silva Júnior e Miranda (2015), em seu estudo “Análise Crítica de Métodos para Dimensionamento de Reservatórios de Água Pluvial: Estudo Comparativo dos Municípios de Belo Horizonte (MG), Recife (PE) e Rio Branco (AC)”, indicam que isso pode levar a reservatórios superdimensionados.

Alguns métodos – o de Azevedo Netto e o prático inglês, por exemplo – resultam em valores elevados de volume, enquanto outros – os métodos práticos alemão e australiano, por exemplo – são mais conservadores. O método da simulação é um método bem fundamentado, que permite a

simulação de vários volumes, até atingir-se a eficiência desejada (AMORIM; PEREIRA, 2008).

Bezerra et al. (2010) apontam a importância de uma investigação comparativa, comparando os custos e benefícios de cada um, antes de se decidir por um ou outro método. O fator econômico será determinante, e o que torna um método mais vantajoso do que outro num local e não em outro é o clima da região, pois o tamanho do reservatório aumenta a confiabilidade do sistema, mas também seu custo. Os métodos que conduzem a reservatórios maiores são indicados para regiões com longos períodos de chuvas, de modo a suprir as vazões durante períodos mais longos de estiagem (AMORIM; PEREIRA, 2008; BEZERRA et al., 2010)

Cabe citar a existência do *software* Netuno, produzido pelo professor Enedir Ghisi e sua equipe, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, que determina o percentual de economia de água potável pelo aproveitamento de água de chuva, além da possibilidade de determinar o volume ideal do reservatório (BEZERRA et al., 2010). O programa permite a simulação da economia com diversos volumes de reservatório (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011).

6. Sistema de recalque: segundo a norma ABNT NBR 15527:2007, quando for necessário utilizar bombeamento, ele deve ser projetado de acordo com a norma ABNT NBR 12214:1992 (“Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público”). Ela trata de todos as partes incluídas no projeto: vazão de projeto; características hidráulicas; localização da elevatória; número de bombas; seleção do conjunto motor-bomba; tubulações de sucção e recalque; elementos adjacentes à bomba; sistema de medição, operação e controle etc.

7. Sistema de distribuição: responsável por encaminhar a água do reservatório de armazenamento para os pontos de utilização. Deve ser dimensionado de maneira idêntica ao sistema de distribuição de água fria potável, ou seja, de acordo com a norma ABNT NBR 5626:1998 (“Instalação predial de água fria”).

2.4 O BIM COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISE DA REDUÇÃO DO CONSUMO

2.4.1 Revit®: o software escolhido

O Autodesk® Revit® é um *software* de modelagem de informação da construção (BIM, em inglês). Diferentemente dos *software*s da tecnologia CAD (*computer aided design*, ou, em português, desenho assistido por computador), o Revit® permite a construção virtual da edificação. É possível modelar todos os elementos que a constituem, desde a arquitetura até os sistemas complementares e a estrutura.

A primeira versão do Revit® foi lançada em 2000 (GASPAR; LORENZO, 2015). Começou como uma solução para arquitetura, e posteriormente foram lançadas as versões para estrutura (Revit® Structure) e sistemas (Revit® MEP). A partir de 2013, o software passou a ser comercializado na versão completa (VANDEZANDE; KRYGIEL; READ, 2014), apesar de continuar sendo possível comprar as versões individuais (Revit® Architecture, Revit® Structure e Revit® MEP).

Tomando como base a versão completa, utilizando o *software* o profissional pode: projetar completamente a arquitetura, os sistemas complementares; modelar toda a estrutura; gerar listas de materiais, documentação de impressão etc. É possível também realizar diversas simulações, tanto para a arquitetura quanto para outros sistemas de engenharia, seja com características do próprio *software* seja com soluções complementares a ele, disponibilizados na forma de *plug-ins*.

Diferentemente dos projetos feitos em CAD, o projeto feito no Revit® constitui um modelo repleto de informações. Nele, um tubo tem as mesmas propriedades que um tubo real (diâmetro externo, diâmetro interno, rugosidade); a parede tem as mesmas propriedades que uma parede real (espessura, camadas, volume, peso específico); a porta tem altura, tem largura; a folha da porta tem espessura.

A Figura 9 mostra a área de trabalho do *software*.

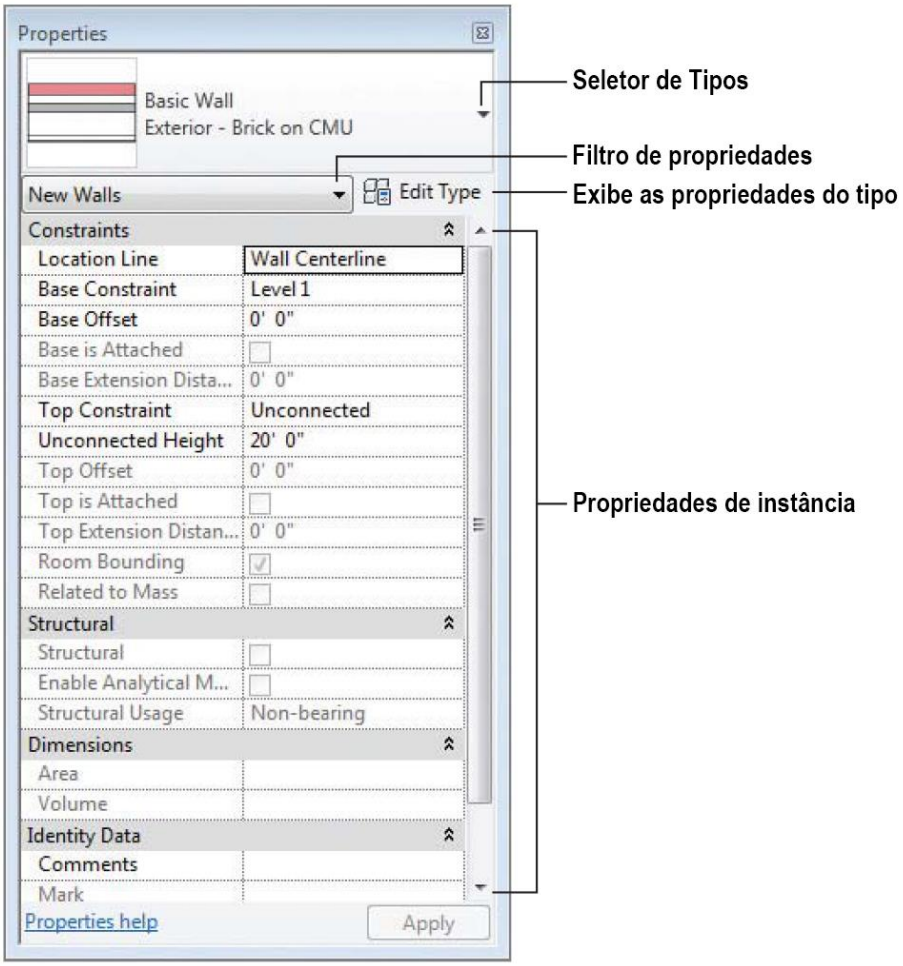
Figura 9 – Área de trabalho do Revit®



Fonte: adaptado de Duell; Hathorn; Hathorn (2014, p. 2)

Como pode-se observar, o modelo é único, mas é possível visualizá-lo e editá-lo simultaneamente em múltiplas vistas (planta baixa, elevação, 3D, entre outras). Supondo que o arquivo acima seja aberto no *software*, exatamente como está na imagem, a paleta *Propriedades* exibirá as propriedades da vista. Se a vista selecionada for a de planta baixa, suas propriedades serão exibidas (escala da vista, modo de exibição, nível de detalhe etc.); igualmente para as vistas 3D, de elevação, de corte. Ao selecionar um elemento, a paleta *Propriedades* passará a exibir as propriedades desse elemento (Figura 10).

Figura 10 – Paleta Propriedades



Fonte: adaptado de Duell; Hathorn; Hathorn (2014, p. 3)

A paleta *Propriedades* acima é da versão em inglês do *software*. Indica a seleção de apenas uma parede no modelo. Se houvesse mais de uma parede selecionada, o número estaria indicado entre parêntesis no filtro de propriedades. Se houvesse mais de um tipo de elemento selecionado (por exemplo, uma parede e uma porta), apenas as propriedades comuns a ambos seriam exibidas. A exibição do seletor de tipos indica o tipo da parede selecionada. A área indicada por “propriedades de instancia” exibe as propriedades da instância selecionada.

Para explicar o significado de instância nesse contexto, tome-se como referência seu uso no contexto da programação orientada a objetos: cada objeto é a instância de uma classe. Ao ser criado, esse objeto constitui uma nova cópia (instância) dessa classe, contendo todos os métodos e propriedades que a definem. Ou seja, instâncias são cada uma das unidades de um mesmo elemento. Se o modelo de uma residência

tem três banheiros, com portas de madeira de 2,10 x 0,60 m, tem-se 3 instâncias da porta de madeira de 2,10 m x 0,60 m. Se as dimensões da porta forem parâmetros de instância, então pode-se ter outras instâncias do mesmo tipo com outras dimensões (variando-se esse parâmetro específico). Por exemplo:

- 3 instâncias da porta de madeira de 2,10 m x 0,60 m;
- 3 instâncias da porta de madeira de 2,10 m x 0,70 m;
- 2 instâncias da porta de madeira de 2,10 m x 0,80 m.

Nesse cenário, tem-se que:

- 8 é o número de instâncias da porta de madeira;
- “Porta de madeira” é o *tipo* da porta;
- “Porta” é a *família* do elemento.

A respeito das demais partes da área de trabalho do *software* (indicadas na Figura 9), tem-se:

- *Botão do Aplicativo*: pode ser utilizado para acessar comandos típicos de aplicações do Windows, como *New* (Novo), *Open* (Abrir), *Save* (Salvar), entre outros.
- *Ferramentas*: são as ferramentas que realmente executam ações dentro do *software*, organizadas em painéis dentro das guias contextuais.
- *Guias Contextuais*: organizam as ferramentas de acordo com sua funcionalidade. Por padrão são doze: *Architecture* (Arquitetura), *Structure* (Estrutura), *Systems* (Sistemas), *Insert* (Inserir), *Annotate* (Anotar), *Analyze* (Analisar), *Massing & Site* (Massa e terreno), *Collaborate* (Colaborar), *View* (Vista), *Manage* (Gerenciar), *Add-Ins* (Suplementos) e *Modify* (Modificar). No entanto, outras guias podem ser exibidas dependendo do comando ou do elemento selecionado.
- *InfoCenter*: agrupa botões que permitem a interação com os conteúdos da Autodesk.
- *Barra de Opções*: exibe as opções relativas ao comando em execução.
- *Painel*: organiza os comandos dentro das guias contextuais, de modo a dividir e agrupar ainda mais as funcionalidades.
- *Navegador do Projeto*: permite navegar pelo projeto, através das vistas,

famílias, tabelas, pranchas etc.

- *Barra de Controle da Vista*: controla a exibição da vista selecionada.
- *Área de Desenho*: é onde se cria o modelo, ou seja, o projeto.

A modelagem dos sistemas não inclui a modelagem da arquitetura. A arquitetura pode ser criada pelo mesmo profissional, mas é natural que seja feita por um arquiteto. No ambiente do *software*, existem vários caminhos para modelar os sistemas dentro da arquitetura:

1. Pode-se modelar os sistemas dentro do próprio arquivo que contém a arquitetura. Nesse caso, recomenda-se o uso da ferramenta *Workset*, como indicado a seguir.
2. Pode-se inserir a arquitetura como link no arquivo em que os sistemas serão modelados, utilizando a ferramenta *Link Revit* (Vínculo do Revit).
3. Pode-se utilizar a ferramenta *Workset*, que permite o trabalho de múltiplos profissionais no mesmo arquivo; ela pode ser utilizada mesmo quando todo o trabalho está sendo feito pelo mesmo profissional, para criar níveis numa hierarquia de permissões, e impedir modificações acidentais no modelo. Por exemplo, pode-se bloquear a edição da arquitetura quando o foco for a modelagem dos sistemas

Com a arquitetura pronta, passando à modelagem dos sistemas, surge o primeiro desafio: a modelagem de sistemas que naturalmente ocupariam o mesmo lugar no espaço (o sistema tradicional e o sistema contentendo soluções eficientes em relação ao uso da água). Para contornar esse problema será utilizada a ferramenta *Phases* (Fases). Todas as vistas possuem as seguintes propriedades: *Phase Filter* (Filtro da Fase) e *Phase* (Fase). Todos os elementos possuem as seguintes propriedades: *Phase Created* (Fase Criada) e *Phase Demolished* (Fase Demolida). Todos os elementos criados no modelo pertencem à fase da vista em que foram criados, mas isso pode ser editado de forma direta. Com a ferramenta *Phase* é possível configurar o que o parâmetro *Phase Filter* causará à vista, ou seja, o que será exibido por ela, e assim fazer com que diferentes vistas exibam diferentes sistemas.

A modelagem (tratada dessa forma por envolver a criação de um modelo) é feita inteiramente dentro do *software*, e pode incluir desde a concepção dos sistemas, até

seu dimensionamento. O processo consiste em: tomada dos pontos de água e esgoto do projeto arquitetônico; definição de qual rede abastecerá cada equipamento; dimensionamento dos reservatórios; locação dos reservatórios; locação dos sistemas de tratamento; definição dos traçados; dimensionamento das tubulações. Todos os passos podem ser feitos dentro do *software*, em alguns casos utilizando conceitos e ferramentas externas, como é o caso do Netuno, que se faz necessário para o dimensionamento do reservatório de armazenamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

Em relação ao dimensionamento das tubulações, o *software* possui uma ferramenta para desempenhar tal tarefa: *Duct/Pipe Sizing* (Dimensionamento de Duto/Tubulação), no entanto a ferramenta se aplica exclusivamente ao pré-dimensionamento das tubulações com base na velocidade. Para completar o dimensionamento, deveria ser feita a verificação das pressões nos pontos da rede, o que não é possível utilizando as ferramentas que vem por padrão no *software*. E isso diz respeito apenas às tubulações de água fria. Há vídeos e tutoriais na internet explicando como fazer o dimensionamento de tubulações de água e esgoto baseado nas tabelas do Revit, mas não é algo automático, e torna-se impraticável para grandes sistemas. Felizmente existe um *plug-in* que realiza todo o dimensionamento dentro do *software* segundo as normas brasileiras: o *MEP Hidráulica*, desenvolvido pela empresa Ofcdesk®, llc.

Após a modelagem completa dos sistemas, será necessário fazer as seleções dos mesmos, e atribuir às peças (registros, tubos, conexões e aparelhos) os parâmetros *Source Table* (Tabela Fonte) e *Code* (Código). A seleção do sistema pode ser feita de forma automática, sem a necessidade de se selecionar elemento por elemento, através da seleção em corrente (funcionalidade do Revit® que permite selecionar trechos de elementos utilizando a tecla *Tab*).

2.4.2 O Revit® para instalações prediais

O Revit®, mesmo quando adquirido como uma solução completa, possui três divisões, conforme descrito anteriormente: o Revit® Architecture, o Revit® Structure e o Revit® MEP. Normalmente, um profissional se especializa no uso das ferramentas que lhe

interessam dentro do software. Por exemplo, um arquiteto tende a utilizar e se aperfeiçoar apenas na parte de arquitetura; um engenheiro estrutural que entregue seus projetos no Revit® ou faça a integração de seu projeto com os demais no ambiente do Revit® tende a fazer seu projeto em um software de cálculo (Tekla® Structures, Robot® Structural Analysis, TQS® etc.) e utilizar, do Revit®, apenas a parte de estruturas. Já engenheiros que trabalham com instalações (hidráulicas, elétricas, mecânicas) tendem a utilizar apenas a parte de MEP.

Para a parte de instalações elétricas, com as ferramentas nativas do Revit® (rótulos, tabelas etc.) é possível realizar diversas tarefas, de acordo com a norma ABNT NBR 5410:2008. Entre elas:

- calcular a potência de iluminação instalada;
- determinar o número mínimo de tomadas de uso geral por ambiente;
- gerar quadro de cargas;
- gerar diagrama uni ou multifilar.

Para a parte de instalações hidráulicas, com as ferramentas nativas do Revit®, é possível:

- fazer cálculos do diâmetro da tubulação com base na vazão e na velocidade;
- simular, através da utilização do recurso de tabelas, a planilha de cálculo para o dimensionamento das tubulações contida na norma ABNT NBR 5626:1998;
- dimensionar as tubulações de esgoto através da simulação do método das unidades de contribuição e Hunter (recomendado pela norma ABNT NBR 8160:1999).

Esses recursos mostram que com o Revit® é possível ir além da simples modelagem dos sistemas, chegando ao dimensionamento em alguns casos. No entanto, a utilização dos recursos citados acima requer alto nível de conhecimento sobre o *software*. Atualmente, a maior parte do conteúdo é produzido em forma de vídeos, facilitando o aprendizado. Além disso, a cada nova versão do Revit® MEP é lançada uma nova versão do livro "*Mastering Revit MEP*" (em português, "Dominando o Revit MEP"), da Editora Sybex. Também é um ótimo material para ser utilizado, e permitir aos engenheiros e projetistas a utilização do Revit® para projetos hidrossanitários

prediais.

2.4.3 A interface de programação do Revit®

O Revit®, enquanto aplicação, possui uma interface de programação, mais conhecida pela sigla em inglês API (*application programming interface*).Trata-se das referências e classes que permitem aos demais programadores interagir com o Revit em seus códigos, utilizar suas informações, e criarem soluções complementares a ele (chamadas de *add-ins* ou *plug-ins*). Contudo, diferentemente de outras aplicações, sobre cujas APIs não existe tanto material de consulta disponível, ou mesmo material nenhum, o Revit® é conhecido por ser um *software* para o qual seu desenvolvedor – a Autodesk® – incentiva a criação de soluções. Prova disso é a existência, no site da Autodesk®, do minicurso *My First Revit Plug-in* (Meu Primeiro Plug-in para o Revit®), explicando, passo a passo, como criar um *plug-in*, e a existência de diversas apresentações no Autodesk® University (encontro para troca de conhecimento entre os usuários de produtos da Autodesk® ao redor do mundo) sobre o tema.

Além dessas duas fontes, existem diversos sites e fóruns na internet dedicados ao tema. Um deles se destaca: *https://thebuildingcoder.typepad.com/*. Criado por Jeremy Tammik, esse é o maior portal sobre o assunto, fornecendo todas as informações, trechos de códigos, SDKs (*Software Development Kits*), para o desenvolvimento de *plug-ins* para o Revit®. Jeremy é desenvolvedor da Autodesk®, entre outras coisas, fornecendo suporte, fazendo treinamentos, apresentações e mantendo o site citado acima.

O Revit® possui uma API baseada no .NET Framework, que pode ser entendido como um conjunto de classes e *Namespaces* sobre os quais o *Windows* está estruturado. Os conceitos de classes e *Namespaces* serão apresentados a seguir. Para desenvolver soluções baseadas nele, qualquer linguagem que utilize o .NET Framework pode ser utilizada.

Para desenvolver um *plug-in*, é fundamental ter acesso às classes e *Namespaces* do Revit®, já que eles serão utilizados a todo momento ao longo do desenvolvimento. “Classes são atributos que definem objetos específicos. Uma classe define certas

propriedades, campos, eventos, métodos etc. A classe define o tipo de dados e funcionalidades que seus objetos terão" (TUTORIALTEACHER, 2018). *Namespaces* são utilizados para organizar classes. Por exemplo, o .Net Framework possui milhares de classes, organizados em centenas de *Namespaces*. Dois *Namespaces* diferentes podem possuir classes de mesmo nome; os *using statements* no início do código são utilizados para trazer ao escopo as classes dos *Namespaces* listados. Por exemplo, a linha "*using System*" traz ao escopo todas as classes contidas no *Namespace System*.

Para que os *Namspaces* do Revit®, que contém as classes que constituem sua API possam ser adicionados ao código, duas referências precisam ser inseridas na solução: são os arquivos *RevitAPI.dll* e *RevitAPIUI.dll*. "RevitAPI.dll contém métodos utilizados para acessar a aplicação, documentos, elementos e parâmetros do Revit a nível de banco de dados" (AUTODESK, 2018). "RevitAPIUI contém as interfaces relacionadas à manipulação e customização da interface do usuário (AUTODESK, 2018)."

Depois de adicionadas as referências, deve-se adicionar os *using statements* correspondentes:

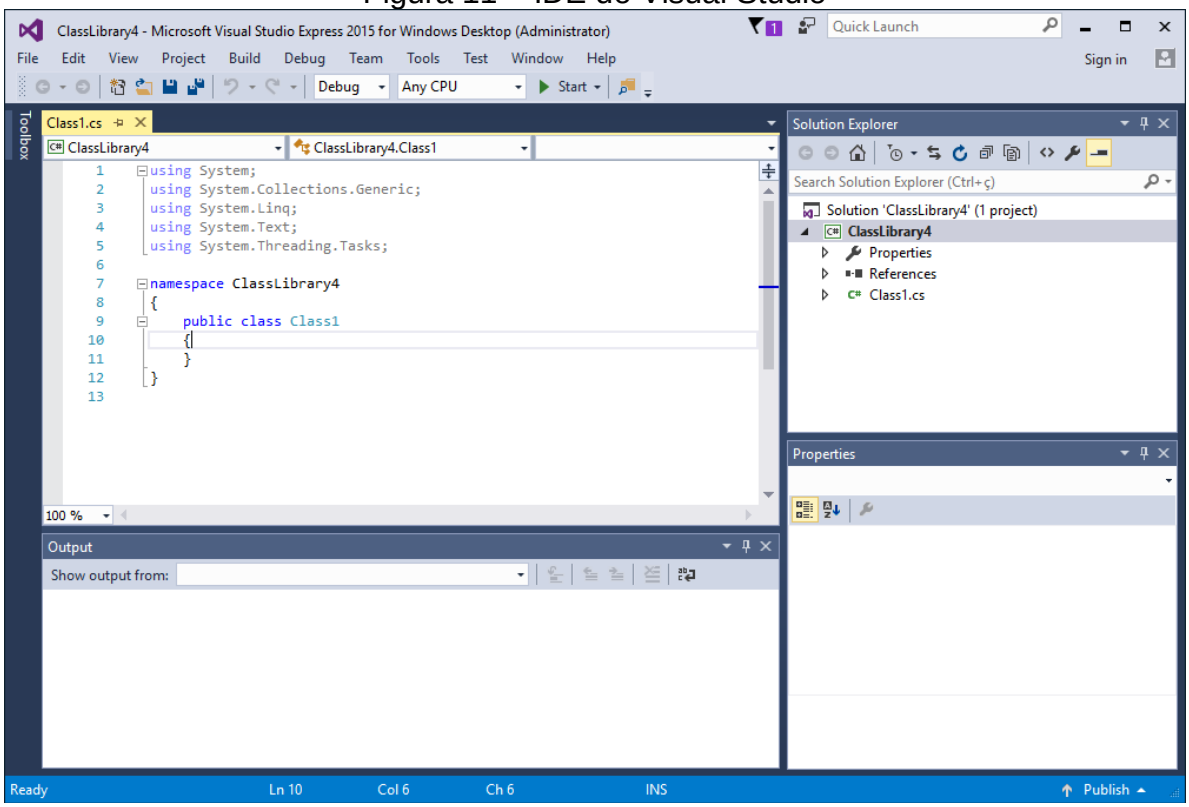
- *using Autodesk.Revit.DB*;
- *using Autodesk.Revit.UI*.

É possível criar *plug-ins* como um comando único, acessado pelo botão *External Tools*, na guia *Add-Ins*; como um botão, localizado na mesma guia; ou como uma guia adicional, populada por um ou mais botões, dividida ou não em painéis.

O *plug-in* necessita, obrigatoriamente, ser compilado no formato DLL. Para isso, utiliza-se *Class Library* (Biblioteca de Classes) como modelo. O arquivo é criado, já com algumas linhas de código. A janela exibida (Figura 11) é chamada de IDE (Integrated Development Environment, ou, em português, Ambiente de Desenvolvimento Integrado). Na janela interna chamada de *Solution Explore*, a solução está organizada em forma de árvore. No exemplo, a solução está contida no arquivo *ClassLibrary4.sln*. O item imediatamente abaixo, o arquivo de projeto, está contido no arquivo *ClassLibrary4.csproj*. Os dois arquivos fazem referência ao mesmo projeto, ou seja, abrindo um ou o outro, o resultado é o mesmo. Abaixo, são

apresentados: *Properties* (Propriedades), *References* (Referências) e as classes existentes. As propriedades definem o tipo de arquivo que será gerado quando a solução for compilada. As referências definem quais informações estarão disponíveis à solução, quais pacotes, extensões.

Figura 11 – IDE do Visual Studio



Fonte: do autor

O arquivo DLL gerado precisa ser carregado pelo Revit® ao iniciar. Para que isso aconteça, é preciso criar um arquivo chamado *Manifest File*, um arquivo de texto, de extensão ADDIN, que aponta para o arquivo DLL correspondente ao *plug-in*. Esse arquivo deve estar localizado na pasta *"C:\ProgramData\Autodesk\Revit\Addins\2019"* (considerando a versão 2019 do *software*).

2.5 DADOS RELATIVOS À ESTIMATIVA DE CUSTOS

2.5.1 Tabelas unitárias de composições de custos

Existem diversas publicações que auxiliam na elaboração de orçamentos. A mais conhecida é o "TCPO – Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos", da

editora Pini. O sistema é composto por uma série de serviços: “Tê 90 soldável de PVC marrom”, “Joelho 45 soldável de PVC marrom”, “Registro de pressão com canopla cromada”, entre outros. Esses serviços, por sua vez, são cotados na forma de composições, que necessitam de insumos e mão-de-obra para serem realizados. Entre muitos outros dados, o TCPO apresenta as composições por unidade de serviço

Esses dados estarão no orçamento detalhado, para cada composição, de todos os serviços que compõem a obra, que resultará no custo total estimado. No entanto, esse processo iria requerer a cotação no mercado de todos esses itens, além da estimativa de custos que não podem ser cotados diretamente, por exemplo, a hora de trabalho dos profissionais envolvidos.

Nesse cenário, pode-se utilizar o SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), de uso obrigatório pelos órgãos públicos, mas que também é válido para o setor privado. O SINAPI foi implementado em 1969 pelo Banco Nacional de Habitação (BNH) em parceria com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Em 1986, ele passou a ser utilizado pela Caixa Econômica Federal como referência para a análise de custo de obras financiadas pelo banco. A partir de 2009, a Caixa passou a divulgar na internet os custos dos serviços de obras habitacionais (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2017).

O SINAPI fornece os custos para inúmeros serviços da construção civil. Os relatórios de preços são divulgados mensalmente, para os 26 estados e o Distrito Federal. Os preços dos insumos são coletados no mercado. O valor da mão-de-obra é pesquisado junto às construtoras e entidades de classe. Os valores de referência de produtividade são extraídos de publicações técnicas. O IBGE é o responsável pela pesquisa de preços dos insumos do Banco Nacional, que compõem o SINAPI (CAIXA ECONÔMICA FEDERAL, 2017).

Igualmente ao TCPO, o SINAPI fornece a composição dos serviços cotados. As composições podem ser acessadas através do site da Caixa: *https://www.caixa.gov.br* > Poder Público > Apoio ao Poder Público > SINAPI – Custos e Índices da Construção Civil > Composições > Catálogo de Composições. As composições são disponibilizadas em formato XLS (formato do programa Microsoft® Excel, em versões

anteriores a 2007). Já para acesso aos custos das composições, o caminho é: *https://www.caixa.gov.br* > Poder Público > Apoio ao Poder Público > SINAPI – Custos e Índices da Construção Civil > Preços e Custos de Referência > Espirito Santo (ou o estado no qual a obra será realizada). Estão disponíveis os relatórios de todos os meses, em formato PDF e XLS; deve-se selecionar o mês atual.

Dessa forma, todo o processo pode ser feito utilizando a base de dados do SINAPI. As composições e os custos dos serviços estão disponíveis. Para o caso de serviços que não estão cotados, pode-se adaptar composições de outros serviços. Além do SINAPI, em âmbito estadual existem outros sistemas de custos que podem ser utilizados. Por exemplo: o SCO (Sistema de Custos para Obras e Serviços de Engenharia), no Rio de Janeiro; e o IOPES (Instituto de Obras Públicas do Espírito Santo), no Espírito Santo.

2.5.2 Custos com operação e manutenção de sistemas compactos de tratamento de águas cinzas

Para Agostini (2009), os custos de operação do sistema devem incluir os salários dos profissionais envolvidos, os produtos químicos, a manutenção e substituição das peças e o consumo de energia elétrica. Já para Franci (2011), esses custos incluem: os materiais de consumo, a manutenção de equipamentos, a gestão do lodo gerado no processo, o acompanhamento laboratorial da qualidade da água, mão de obra e energia. O consumo com energia elétrica (com bombeamento) é mais fácil de ser estimado, e portanto deve ser separado dos demais (com mão de obra, produtos químicos, manutenção e substituição de peças, e energia utilizada para outros fins).

Agostini (2009) apresenta o dado de Pertel (2008), segundo o qual 8% da energia consumida em um edifício residencial refere-se ao recalque de água. No entanto, em seu trabalho, ele chega ao percentual de 5%. Em seu estudo, foi monitorado o consumo de água e energia elétrica num edifício (que conta com sistema de reuso de águas cinzas) localizado em Vitória – ES. O consumo de energia foi monitorado em várias escalas: geral, para o condomínio, e para os apartamentos, por cerca de oito meses. Foi monitorado também o consumo de energia nas bombas responsáveis pelo recalque tanto da água potável quanto da água de reuso.

O consumo das bombas foi obtido diretamente dos medidores utilizados (analisadores de energia). Foi, então, definida a grandeza chamada de “consumo específico de energia no recalque de água”, definido pela Equação 4:

$$e_{rec} = \frac{\overline{E}_{Bomba}}{\overline{Q}_{Água} \cdot 10^{-3}} \qquad \text{(Eq. 4)}$$

onde: e_{rec} = consumo específico de energia no recalque (em kWh/m³); $\overline{Q}_{Água}$ = consumo médio diário de água no edifício (em l/dia); e $\overline{E}_{Bomba}$ = consumo médio diário de energia na bomba de recalque (em kWh/dia). Ele chegou aos valores de 0,71 kWh/m³ para o recalque de água potável e 1,44 kWh/m³ para o recalque de água de reuso. Ele justifica essa diferença por três fatores: mau dimensionamento do sistema, idade avançada dos equipamentos, e manutenção inadequada.

No entanto, a forma mais direta e precisa de se determinar o consumo com o bombeamento da águas de reuso é pela potência e tempo de operação por dia. A potência da bomba é calculada de acordo com o projeto (dimensionamento do sistema). A vazão de projeto será definida com base no volume a ser recalcado e o tempo de operação por dia. Finalmente, com esses dois valores (potência e tempo de operação), conhecido o custo da energia, é possível estimar o consumo com o bombeamento.

2.6 TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção apresenta trabalhos relacionados com a viabilidade econômica dos sistemas de reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais.

2.6.1 Análise da viabilidade econômica de sistemas de reuso de águas CINZAS e aproveitamento de águas pluviais

Estudo de viabilidade é a análise do potencial impacto de um projeto proposto, e tem por objetivo subsidiar a decisão de implementá-lo ou não (URKIAGA et al., 2008). Essa análise pode ser conduzida por diferentes atores: gestores, construtoras,

consumidores etc. As responsabilidades, custos e benefícios variam consideravelmente de ator para ator. No caso dos clientes residenciais, os benefícios se traduzem na redução das contas de água (e esgoto) (FRIEDLER; HADARI, 2006).

Um sistema de reuso possui custos internos e externos. Os custos internos incluem: custos de implantação; custos financeiros; custos de operação e manutenção; e depreciação. Gonçalves (2006), citado por Agostini (2009), define os custos de implantação como a diferença entre o custo de uma edificação sem sistema de reuso e a mesma edificação com sistema de reuso em funcionamento.

A depreciação é definida como o custo de aquisição do equipamento dividido por seu tempo de vida útil (OVIEDO-OCAÑA et al., 2017). No entanto, segundo Franci (2011), há mais um custo a ser considerado, chamado por ele de custo de oportunidades; trata-se do custo representado pelo abandono de outras oportunidades possíveis de investimento para o capital investido no sistema.

Já os custos externos são de natureza social e ambiental (HERNÁNDEZ, 2006). Igualmente, os benefícios podem ser diretos ou indiretos. Os benefícios diretos são aquilo que o consumidor percebe: a redução do volume consumido (e, consequentemente, do valor pago) da concessionária. Os benefícios indiretos são de natureza ambiental. Incluem diminuição dos gastos públicos com energia para bombeamento e tratamento dos efluentes, adiamento de investimentos necessários para a ampliação do sistema etc.

Ao implantar o sistema de reuso de águas cinzas, o cliente usará menos água potável fornecida pela concessionária, já que as bacias sanitárias serão abastecidas com água de reuso. Mas necessitará arcar com todos os custos de implantação, manutenção e operação (FRIEDLER; HADARI, 2006). Operação e manutenção de sistemas de reuso de águas cinzas incluem custos de energia com tratamento e bombeamento, mão de obra e insumos (em alguns casos), além da manutenção propriamente dita (FRIEDLER; HADARI, 2006). Franci (2011), no entanto, ressalta a importância de se considerar as análises laboratoriais periódicas, exigidas pela norma (atualmente em discussão na ABNT), variando de acordo com o porte da edificação, dentro desse custo. Friedler e Hadari (2006) estimaram os custos com manutenção

(incluindo peças e reparos) em 2% do custo total anual de gastos.

Entre os custos de implantação, o reservatório é o elemento mais oneroso, no caso do sistema de aproveitamento de águas pluviais (URSINO; GRISI, 2017). Não é uma tarefa simples dimensionar corretamente o reservatório para esse sistema. Segundo Ursino e Grisi (2017), a análise do clima nem sempre é suficiente. Quando se toma como parâmetros as possibilidade de transbordamento e esgotamento da água reservada, a conclusão é imprecisa, podendo levar a uma série de resultados. Existem modelos de simulação (MORALES-PINZON et al., 2014), equações matemáticas (URSINO; GRISI, 2017) e algoritmos (THOMAS; BURDEN, 1963, apud BERHANU et al., 2016) para auxiliar nessa seleção.

O dimensionamento do reservatório para sistemas de reuso é mais simples. Considerando que a água de reuso não deve ser armazenada por mais de 48 horas (AL-JAYYOUSI, 2003; MARCH, GUAL, 2009, apud OVIEDO-OCAÑA et al., 2017), devido ao potencial de crescimento de micro-organismos, recomenda-se adotar o volume do reservatório igual a dois dias de consumo dos aparelhos por ele abastecidos (OVIEDO-OCAÑA et al., 2017).

Já na operação, a energia representa a maior parte do custo. Contudo, deve-se tentar reduzir ao máximo esses gastos, para que o reuso se torne economicamente viável (NAIK, STENSTROM, 2016). A energia consumida nos sistemas de reuso de águas cinzas e pluviais se deve à necessidade de bombeamento. Para determinar esse consumo, a potência da bomba e o tempo de operação precisam ser estimados. O tempo de operação está ligado ao volume a ser bombeado e à vazão da bomba (OVIEDO-OCAÑA et al., 2017).

Quando o custo da energia elétrica for muito alto, o tratamento de águas cinzas pode não ser viável economicamente. Contudo, se o custo da água for igualmente alto, o sistema pode voltar a ser viável, inclusive para residências unifamiliares (YU et al., 2016).

Sistemas de aproveitamento de águas pluviais com bombeamento são menos eficientes do que sistemas tradicionais no que se refere à energia; seu consumo se

aproxima do consumo do sistema de reuso de águas cinzas. Se o sistema dispensar o uso de bombas, isso, por si só, já o torna mais competitivo (VIEIRA et al., 2014, apud AMOS; RAHMAN; GATHENYA, 2016).

O preço da água é um fator determinante na análise da viabilidade econômica de sistemas de reuso de água da chuva (AMOS; RAHMAN; GATHENYA, 2016). O benefício econômico direto do sistema de aproveitamento de águas pluviais é função da quantidade de água potável economizada (que seria utilizada no caso da inexistência do sistema) (AMOS; RAHMAN; GATHENYA, 2016). E, assim, quanto mais cara a água maior o benefício econômico.

Alguns autores não consideram que o sistema possua viabilidade. Segundo Preece (2006, apud AMOS; RAHMAN; GATHENYA, 2016), é o custo de implantação da tubulação que torna o sistema inviável economicamente. Já algumas instituições internacionais, como a Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) e o Banco Mundial, sustentam que o planejamento financeiro dos serviços de água e esgoto não pode se basear na recuperação total do investimento (TEAM, 2009; BANERJEE, 2010, apud AMOS; RAHMAN; GATHENYA, 2016).

Apesar de ser voltada para a conservação, essa visão não contribui para a tomada de iniciativas de reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais. O sistema pode, sim, ser sustentável. E condições como baixa taxa de inflação e alta taxa de juros tendem a resultar em períodos de retorno menores (KHASTAGIR; JAYASURIYA, 2011, apud AMOS; RAHMAN; GATHENYA, 2016).

Um alto preço cobrado pela água, uma baixa taxa de juros, uma alta intensidade de chuvas, e um reservatório com tamanho apropriado ao perfil de demanda contribuem para tornar o sistema de aproveitamento de águas pluviais mais economicamente atrativo. Contudo, pesquisas realizadas em países desenvolvidos mostraram que a água de sistemas de aproveitamento de águas pluviais é geralmente mais cara do que a água fornecida pela concessionária (AMOS; RAHMAN; GATHENYA, 2016).

No caso de sistemas de tratamento de águas cinzas para reuso, quanto pior a qualidade da água cinza maior a necessidade de tratamento, maior o custo e menos

atrativo é o sistema. Já que a geração de águas cinzas é maior do que seu consumo (reuso nas bacias sanitárias), é preferível utilizar apenas águas cinzas de melhor qualidade, para reduzir os custos de tratamento (FRIEDLER; HADARI, 2006). De acordo com diversos estudos conduzidos internacionalmente (FRIEDLER, 2004, apud OVIEDO-OCAÑA et al., 2017; MATOS et al., 2015, apud OVIEDO-OCAÑA et al., 2017; ETH, 2009, apud OVIEDO-OCAÑA et al., 2017; GHAITIDAK; YADAV, 2013, apud OVIEDO-OCAÑA et al., 2017), o chuveiro é o aparelho sanitário que gera a água cinza com melhores características físico-químicas para ser reutilizada. Já para águas pluviais, a qualidade precisa ser avaliada caso a caso, e os requisitos de qualidade vão depender do uso a que ela se destina.

Para uma análise de viabilidade econômica correta (tanto para sistemas de reuso de águas cinzas quanto para sistemas de aproveitamento de águas pluviais), ela deve ser feita utilizando os seguintes indicadores: valor presente líquido; período de retorno; e taxa interna de retorno (MATOS et al., 2015; OVIEDO-OCAÑA et al., 2017). De um modo geral, os valores são ajustados pela inflação, mas o preço da água tem a tendência de ser reajustado numa taxa acima da inflação (MORALES-PINZON et al., 2014; DOMÈNECH; SAURÍ, 2010, apud AMOS; RAHMAN; GATHENYA, 2016).

Para um sistema de reuso de águas cinzas ser economicamente viável, o período de retorno deve ser inferior à vida útil do sistema. Já que os equipamentos elétricos/mecânicos são as partes mais importantes do sistema do ponto de vista financeiro, em alguns estudos a vida útil do sistema foi adotada como o desses equipamentos, fixado em 15 anos (FRIEDLER; HADARI, 2006). Outros estudos apresentam valores diferentes. Aproximando-se desse valor, Juan, Chen e Lin (2016) afirmaram o motor precisa ser substituído a cada 10 anos, mas estimou o ciclo de vida do sistema em 20 anos.

Na concepção desses sistemas, algumas considerações são necessárias. Na concepção de sistemas de tratamento de águas cinzas, oferta e demanda são considerados constantes ao longo do ano (OVIEDO-OCAÑA et al., 2017). Para sistemas de aproveitamento de águas pluviais, a oferta é considerada variável, e a demanda é considerada constante (OVIEDO-OCAÑA et al., 2017). Alguns estudos utilizam padrões típicos para estimar número apartamentos por andar em prédios,

número de moradores por apartamento, consumo etc. (JUAN, CHEN; LIN, 2016; FRIEDLER; HADARI, 2006), enquanto outros utilizam simulações computacionais (BERHANU et al., 2016).

2.6.2 Análise das contribuições do modelo proposto

A pesquisa conduzida por Friedler e Hadari (2006) apresentou uma série de limitações do ponto de vista da análise do consumo: foram consideradas edificações de múltiplos andares; o número de moradores foi tomado como constante; os insumos foram cotados no mercado, todos eles; os custos de componente como sistema de bombas e unidade de tratamento foram estimados através de uma regressão linear dos dados disponíveis; o consumo adicional de material para a implantação do sistema foi adotado como constante, ao invés de retirado dos respectivos orçamentos; os reservatórios não foram dimensionados; as despesas adicionais com tubos, conexões, registro etc. foram estimados em 15%; o consumo per capita foi admitido constante, assim como o correspondente à descarga de bacias sanitárias.

Juan, Chen e Lin (2016) também consideraram um número fixo de pessoas por família, igual a 4. Berhanu (2016) utilizou a simulação de Monte Carlos para estimar o custo nivelado, custo total, economia de água e valor presente líquido para cada uma das tecnologias abordadas. Para cada simulação de Monte Carlos, a seleção da tecnologia de tratamento era tratada como uma escolha aleatória. O número de habitantes por residência foi estimado empiricamente. Yu et al. (2016) retiraram os custos de implantação, operação e manutenção do sistema de um estudo de caso, condicionando seus resultados às particularidades de um caso específico.

O estudo de Morales-Pinzón et al. (2014) foram bastante dinâmico ao usar informações técnicas e de custos de catálogos da internet, bancos de dados e obtidos junto a fornecedores; ao estimar demanda per capita e fração do consumo com base em dados do Instituto Nacional da Espanha. O problema de estimar esses valores com base em dados estatísticos de uma única fonte é desconsiderar a influência de outras variáveis.

Os autores utilizaram a razão entre demanda e oferta, o volume do reservatório, o

preço da água potável e o índice pluviométrico como variáveis. Também foram criadas variáveis para representar concreto, aço e PVC. Ele afirmou ser possível explicar o potencial de aproveitamento da água pluvial com base na área de captação, volume de reservação e taxa pluviométrica.

Matos et al. (2015) analisaram a viabilidade econômica do sistema de aproveitamento de água da chuva baseado em estimativas tanto do investimento necessário para a implantação do sistema quanto dos benefícios. Oviedo-Ocaña et al. (2017) utilizaram dados da Comissão Reguladora de Água Potável e Saneamento da Colômbia no tocante à porcentagem do consumo para cada uso (perfil de consumo).

Os estudos de Agostini (2009) e Franci (2011) foram bastante detalhistas, fazendo uma análise completa dos custos envolvidos. No entanto, eles foram conduzidos com edificações específicas, medidas feitas in loco, monitoramento do uso. Por mais que grande parte dos estratégias e metodologias (determinação do consumo de energia, economia de água, custos com operação e manutenção etc.) possa ser aplicada a outros casos, o resultado como um todo está restrito aos respectivos estudos de caso.

Em relação a essas pesquisas, este estudo se diferencia em vários pontos:

- O número de pavimentos não é fixo, podendo ser utilizado para residências de um ou mais andares.
- O número de unidades habitacionais não é fixo, podendo ser utilizado para edificações uni ou multifamiliares.
- O número de moradores não sé fixo.
- A cotação de itens no mercado é substituída pela utilização de tabelas de custo existentes no mercado brasileiro (como a do SINAPI, SCO, IOPES etc.), ficando restrita aos itens que não forem encontrados nessas tabela.
- Os custos dos sistemas de tratamento e de bombeamento são obtidos junto aos fornecedores, e não estimados.
- O custo de implantação do sistema, representado pela diferença entre os custos do sistema tradicional e do sistema com as soluções propostas, é obtido a partir dos respectivos orçamentos (obtidos automaticamente), e não estimado.

- O volume dos reservatórios não é fixo, podendo ser dimensionado.
- O custo da água é tomado em função da faixa de consumo (como acontece na realidade), e não admitido como um valor único.
- O consumo per capita é função dos tipos de aparelhos considerados na residência. O consumo per capita médio (220 litros/hab/dia) é igual à soma dos consumos (dados pelo produto da vazão e frequência típicas) dos aparelhos sanitários convencionais de uso interno. Ao selecionar opções de dispositivos economizadores para os correspondentes convencionais, automaticamente o consumo per capita é corrigido.
- O consumo per capita pode, a cargo do projetista, ser colocado como função da faixa de renda dos moradores da edificação.
- O resultado da análise constitui a imagem de um cenário (composto pelas configurações e demais dados de entrada), mas esse cenário pode ser alterado indefinidamente, afim de se encontrar a imagem que mais se aproxima da desejada pelo projetista.
- No orçamento, é possível definir um valor para o BDI. Na tomada de preços, os valores devem vir sem BDI aplicado; contudo, caso uma tabela apresente valores com BDI aplicado, é possível corrigir esses valores.
- É apresentado um memorial descritivo completo, gerado dinamicamente, adaptado às características do cenário proposto, com a explicação detalhada de todas as variáveis, e passos de cálculo, facilitando seu entendimento até para os que não são especialistas na área.

3 O MODELO PROPOSTO

4 O MODELO PROPOSTO

A análise da viabilidade econômica é feita em três linhas: utilização de dispositivos economizadores; reaproveitamento de águas cinzas; aproveitamento de águas pluviais. Sobre os dois últimos, como referenciado anteriormente, ambos possuem custos internos e externos, benefícios diretos e indiretos. Os custos externos são de natureza social e ambiental; os benefícios indiretos são de natureza ambiental. Ambos serão desconsiderados.

O objetivo é analisar a viabilidade do ponto de vista do proprietário do sistema, que afinal será o responsável pelos investimentos em sua implantação, operação e manutenção e colherá os benefícios decorrentes da consequente redução de custo com o consumo de água potável. Assim, apenas os custos internos e os benefícios diretos serão considerados.

Considerem-se os seguintes indicadores para a análise de viabilidade:

- Valor presente líquido (VPL): consiste em trazer para o presente (t = 0) todos os fluxos de caixa de um investimento (isto é, corrigi-los pela inflação, ou pelo custo de capital definido) e soma-los ao investimento inicial. Se VPL = 0, o investimento é indiferente, ou seja, não trará perdas nem ganhos; se VPL > 0, ele é atrativo; e se VPL < 0, ele não é atrativo. Considere-se para a definição do valor presente líquido a Equação 5:

$$VPL = I - \sum_{i=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+r)^t} \qquad \text{(Eq. 5)}$$

  onde: I é o investimento inicial (em R$); FC_t é o fluxo de caixa (ou lucro líquido) para o período t (em R$); r é o custo do capital definido (em %); e n é o número de períodos.
- Período de retorno: período requerido para que os recebimentos do fluxo de caixa de um investimento se igualem aos desembolsos feitos em função do investimento. No entanto, para calcular o período de retorno, é necessário trazer os valores futuros para o presente, aplicando o conceito de valor

presente líquido, definido acima.

- Taxa interna de retorno: é a taxa de desconto que faz com que o valor presente líquido seja igual a zero.

O resultado da análise é dado na forma do período de retorno. O investimento inicial é considerado como a diferença entre os custos (obtidos através dos respectivos orçamentos) dos sistemas eficiente em relação ao uso da água e tradicional. Ao valor calculado é aplicado o BDI (Benefício das Despesas Indiretas) de 22,12% (sugerido pelo Acórdão n° 2622 de 2013 do Tribunal de Contas da União para construção de edifícios). O fluxo de caixa é dado pela diferença entre o custo do volume de água economizado e os custos de operação e manutenção dos sistemas.

O período de retorno é comparado com o período de vida útil do sistema. Para que seja economicamente viável, o período de retorno do investimento deve ser inferior à vida útil do sistema. O custo do capital considerado é a taxa de juros.

O sistema tem a configuração de quais tipos de medidas economizadoras serão tomadas:

- utilização de dispositivos economizadores;
- reuso de águas cinzas;
- aproveitamento de águas pluviais.

Os orçamentos dos sistemas são feitos automaticamente no *software* Autodesk® Revit®. Dentre os fatores para o cálculo do lucro líquido, o volume de água economizado varia em função dos tipos de medidas economizadoras selecionadas e configurações da edificação (número de moradores, número de unidades habitacionais, número de carros, área de jardim etc.). Para o caso do uso de dispositivos economizadores, ele será dado pela diferença entre o volume consumido pelo equipamento tradicional e o volume consumido pelo dispositivo economizador correspondente. Esses consumos são dados pela vazão estimada multiplicada pelo tempo e frequência de uso estimadas (obtidos da literatura). Nos casos em que há mais de um dispositivo economizador disponível correspondente a um mesmo equipamento tradicional, a economia é função do tipo de dispositivo utilizado.

Nos casos em que o consumo varia com a faixa de pressão, isso também é considerado. Os intervalos de pressão são definidos por faixas (baixa e alta pressão, por exemplo). Como o consumo por aparelho é fixo, independentemente do número de aparelhos existentes na residência, caso haja aparelhos idênticos com diferentes faixas de pressão selecionadas, o consumo atribuído a ele será a média ponderada dos consumos dos aparelhos, admitindo que todos tem probabilidades idênticas de serem utilizados.

Para o caso do reuso de águas cinzas, todo o consumo dessa água é admitido como economia. Para o caso do aproveitamento da água da chuva, esse consumo também é admitido como economia, mas corrigido por um fator que representa a confiabilidade do suprimento de águas pluviais (função de como foi feito o dimensionamento do reservatório de águas pluviais).

Cada aparelho tem um parâmetro que define o tipo de água com o qual será abastecido (potável ou não potável). No entanto, para todos os aparelhos, exceto a bacia sanitária, esse parâmetro está desabilitado, já que a norma que trata do tema, atualmente em discussão na ABNT, veda o uso de água não potável para qualquer aparelho de uso interno à exceção da bacia sanitária. A existência de apenas duas opções para a água, sem apresentar, por exemplo, água pluvial ou de reuso, se deve ao fato de a norma não fazer essa distinção. Dependendo das medidas economizadoras selecionadas, a água não potável é interpretada como de um ou de outro tipo. Nos casos em que há mais uma opção de dispositivo economizador, essa configuração embasará os cálculos, alterando o resultado.

4 RESULTADOS

5 RESULTADOS

4.1 O MODELO PARA O CÁLCULO DO PERÍODO DE RETORNO

4.1.1 O cálculo do consumo

Na teoria, o consumo de uma residência é dado pelo consumo per capita multiplicado pelo número de moradores. Contudo, o consumo per capita, como mostrado na Tabela 3, varia bastante em função de fatores como renda, tipo da edificação, número de habitantes, localização geográfica etc. Inclusive de estudo para estudo.

Foi adotado neste modelo o consumo de 220 litros/habitante/dia (valor que se aproxima do calculado na Equação 221). Esse valor foi considerado como o consumo médio interno, ou seja, excluindo o volume externo, se houver quintal. Assim, esse valor se iguala ao valor consumido num apartamento (onde só existe consumo interno).

Esse consumo foi interpretado como o consumo per capita numa residência típica– com todos os aparelhos (torneira de lavatório, torneira de pia da cozinha, torneira de tanque ou uso geral, bacia sanitária, chuveiro) do tipo convencional, presença de máquina de lavar roupas, ausência de máquina de lavar pratos, ausência de banheira.

Cabe reproduzir a discriminação do consumo feita por Tomaz (2000). No cálculo dos consumos será utilizado mecanismo semelhante.

> "- Vaso sanitário
>
> Consideremos que cada pessoa utilize o vaso sanitário 4 (quatro) vezes ao dia e que o volume de cada descarga seja de 12 litros. Consideremos ainda um vazamento de 5% em cada descarga. Teremos então:
>
> 5 pessoas x 4 descargas/pessoa/dia x 12 litros/descarga x 1,05 (vazamentos) x 30 dias = 7.560 litros/mês
>
> - Banho no chuveiro
>
> Comumente no Brasil toma-se banho de chuveiro elétrico, sendo o normal 1 banho/pessoa/dia. A duração do banho depende do hábito

> das pessoas, mas o usual é que o banho de chuveiro demore em média 5 (cinco) minutos. A vazão do chuveiro elétrico de uma residência é cerca de 0,08 litros/segundo. Teremos então:
>
> 5 pessoas x 1 banho/pessoa/dia x 0,08 litros/segundo x 60 segundos x 5 minutos x 30 dias = 3.600 litros/mês
>
> - Banho na banheira
>
> Como a casa tem banheira e o uso da banheira de modo geral é bem pequeno, adotemos 0,1 banho/pessoa/dia e o volume gasto na banheira seja de aproximadamente de 113 litros de água. Então:
>
> 5 pessoas na casa x 0,1 banho/pessoa/dia x 113 litros/banho x 30 dias = 1.695 litros/mês
>
> - Torneira na cozinha
>
> Supomos que cada pessoa na casa gasta 1 (um) minuto por dia com a torneira da cozinha, cuja vazão é de 0,1 litro/seg. Então teremos:
>
> 5 pessoas x 0,1 litro/seg x 60 segundos x 330 dias = 900 litros/mês
>
> - Torneira de banheiro
>
> Suponhamos da mesma maneira que para a torneira da cozinha que cada pessoa gaste 1 (um) minuto por dia com a torneira do banheiro, sendo a vazão a mesma, isto é, 0,1 litro por segundo. Então:
>
> 5 pessoas x 0,1 litro/seg x 60 segundos x 30 dias = 900 litros/mês
>
> - Lavagem de roupa
>
> Como existe máquina de lavar roupa, suponhamos que a carga seja de 0,2 carga/pessoa/dia, com 170 litros por ciclo. Teremos:
>
> 5 pessoas x 0,2 carga/pessoa/dia x 170 litros/ciclo x 30 dias = 5.100 litros/mês
>
> - Máquina de lavar pratos
>
> Como existe máquina de lavar pratos, consideremos que a mesma tenha carga de 0,2 carga/pessoa/dia, gastando 37 litros por carga. Para orientação, uma máquina de lavar pratos enxuta gasta na lavagem completa 18 (dezoito) litros de água, para pressões variando d e0,2 a 8,0 kgl/cm^2. Para esse caso teremos 5 (cinco) pessoas:
>
> 5 pessoas x 0,2 carga/pessoa/dia x 37 litros/carga x 30 dias = 1110 litros/mês”
> (TOMAZ, 2000, p. 38-39)

Quanto aos consumos externos, considere-se novamente o proposto por Tomaz

(2000). Será utilizado mecanismo semelhante:

> “USO EXTERNO
>
> O uso externo de casa são a rega de jardins, passeios, lavagem de carros etc.
>
> - Gramado ou jardim
>
> Como a área de jardim é de 500 m^2 e como gasta-se 2 litros/dia/m^2 e ainda sendo a frequência de lavagem de 8 vezes por mês, ou seja, 0,26 vezes/dia, teremos:
>
> 500 m^2 x 2 litros/dia/m^2 x 0,26 vezes/dia x 30 dias = 7.800 litros/mês
>
> - Lavagem de carro
>
> Considerando a frequência de lavagem de carros de uma vez por mês e que o gasto seja de 150 litros por lavagem teremos:
>
> 4 carros x 150 litros/lavagem x 1 = 600 litros/mês
>
> - Piscina
>
> A piscina tem área de 5 metros por 8 metros, ou seja, 40 metros quadrados. Sendo a manutenção da mesma feita 8 vezes por mês, isto é, frequência de 0,26 vezes/dia e como o consumo de água de manutenção é de 3 litros/dia/m^2 teremos:
>
> 3 litros/dia/m^2 x 40 m^2 x 0,26 x 30 dias = 936 litros/mês
>
> - Mangueira de jardim
>
> Supondo que a mangueira de jardim seja usada em 20 dias por mês teremos:
>
> 50 litros/dia x 20 dias = 1.000 litros/mês” (TOMAZ, 2000, p. 40-41)

A Tabela 4 traz uma compilação dos dados de utilização (vazão, tempo de utilização, frequência) dos aparelhos típicos de uso interno (tradicionais e eficientes) disponíveis na literatura consultada. Todos os dados são per capita.

Tabela 4 – Dados de consumo dos aparelhos de uso interno

(continua)

Dispositivo	Vazão (l/s)	Tempo de uso (s/uso)	Consumo (l/uso)	Frequência (usos/dia)	Consumo (l/dia)
Torneira de lavatório					
Tradicional					
De 2 a 10 mca	0,167[12]	15[8]	2,505	12[8]	30,06
De 10 a 40 mca	0,333[12]	15[8]	4,995	12[8]	59,94
Disp. economizador					
Hidromecânica	0,07[3]	8,9[8]	0,623	12[8]	7,476
Sensor fotoelétrico	0,05[3]	3,9[8]	0,195	12[8]	2,34
Com arejador	0,05[13]	15[8]	0,75	12[8]	9
Com pulverizador	0,03[13]	15[8]	0,45	12[8]	5,4
Registro regulador de vazão					
Até 6 mca	0,13[16]	15[8]	1,95	12[8]	23,4
De 15 a 20 mca	0,21[16]	15[8]	3,15	12[8]	37,8
Torneira de tanque/uso geral					
Tradicional					
Até 6 mca	0,23[16]	25,52[3]	5,8696	3,3333[14]	19,5651
De 15 a 20 mca	0,42[16]	25,52[3]	10,7184	3,3333[14]	35,7276
Disp. economizador					
Com restritor de vazão					
Até 6 mca	0,10[16]	25,52[3]	2,252	3,3333[14]	7,5066
De 15 a 20 mca	0,10[16]	25,52[3]	2,252	3,3333[14]	7,5066
Com regulador de vazão					
Até 6 mca	0,13[16]	25,52[3]	3,3176	3,3333[14]	11,0586
De 15 a 20 mca	0,21[16]	25,52[3]	5,3592	3,3333[14]	17,8638
Válvula redutora de pressão	0,1[8]	25,52[3]	2,552	3,3333[14]	8,5066
Engate estrangulador	0,1[8]	25,52[3]	2,552	3,3333[14]	8,5066
Torneira de pia da cozinha					
Tradicional					
Até 6 mca	0,23[16]			240[s/dia][6]	55,2
De 15 a 20 mca	0,42[16]			240[s/dia][6]	100,8
Disp. economizador					
Hidromecânica	0,13[19]			240[s/dia][6]	31,2
Com arejador	0,10[15]			240[s/dia][6]	24
Com pulverizador	0,06*[13]			240[s/dia][6]	14,4
Registro regulador de vazão					
Até 6 mca	0,13[15]			240[s/dia][6]	31,2
De 15 a 20 mca	0,21[15]			240[s/dia][6]	50,4

Tabela 4 – Dados de consumo dos aparelhos de uso interno

(conclusão)

Dispositivo	Vazão (l/s)	Tempo de uso (s/uso)	Consumo (l/uso)	Frequência (usos/dia)	Consumo (l/dia)
Chuveiro					
Tradicional					
Até 6 mca	0,19[15]	300[6]	57,0	1[7]	57,0
De 15 a 20 mca	0,34[15]	300[6]	102,0	1[7]	102,0
Disp. economizador					
Registro regulador de vazão					
Até 6 mca	0,11[15][18]	300[6]	33,0	1[7]	33,0
De 15 a 20 mca	0,20[15][18]	300[6]	60,0	1[7]	60,0
Restritor de vazão					
8 litros/min	0,13[15]	300[6]	39,0	1[7]	39,0
12 litros/min	0,20[15]	300[6]	60,0	1[7]	60,0
Válvula de fecha-mento automático					
Até 6 mca	0,19[15]	262,8**	49,932	1[7]	49,932
De 15 a 20 mca	0,34[15]	262,8**	118,32	1[7]	83,352
Bacia sanitária					
Tradicional (6 LPF)			6,8[7]	5[6]	34
Disp. Economizador					
Dual flush			6,8 ou 3,4[7]	2 x 6,8 + 3 x 3,4[6][7]	23,8

Dispositivo	Consumo (l/ciclo)	Frequência (ciclos/dia)	Consumo (l/dia)
Máquina de lavar roupas	108[8]	0,2[6]	21,6
Máquina de lavar pratos	44[6]	2[6]	88

Notas: Os índices entre parênteses indicam a publicação fonte do dado, de acordo com a numeração dos anexos, que organizam as tabelas por estudo. *O valor encontrado na publicação utilizada como fonte não faz referência a tratar-se de torneira de pia de cozinha. O valor foi multiplicado por um coeficiente igual à razão entre os demais valores da publicação e os disponíveis em outras publicações (o fator de correção foi 2,0). **Devido à falta de dados na literatura, foi adotada a mesma redução de tempo verificada no caso dos lavatórios (f = 8,9/15 = 0,5933 ≈ 0,6).

Fonte: do autor

Tomaz (2001) apresenta o volume médio consumido de 113 litros de água por utilização da banheira, e frequência de 0,1 banho/pessoa/dia, ou 3 banhos/mês. Se admitir-se a utilização de banheira na residência, isso resultará em consumo adicional com a banheira e redução no consumo com o chuveiro. O consumo adicional com a banheira será de 11,3 l/dia/pessoa e a redução no consumo com o chuveiro será o correspondente a 3 utilizações por mês, considerando a vazão característica do chuveiro utilizado.

Para o consumo de máquinas de lavar roupas e de lavar louças, Gonçalves (1995, p. 104) apresenta os seguintes dados para a economia obtida com lavagem manual de roupas e louças, em lugar da utilização de máquinas: 80,67% e 34,78%, respectivamente. Contudo, esses dados são originalmente de 1978, e ele ressalta que o elevado consumo desses aparelhos estava ligado às demandas fixas de água por ciclo de funcionamento independentemente da quantidade de roupa. Como a lavadora de louças não será tomada como dispositivo disponível na residência padrão, que definirá o consumo médio, sua utilização acarretará num consumo adicional de 34,78% de água potável.

Somando o consumo de todos os aparelhos tradicionais (retirados da Tabela 4) tem-se (Equação 221):

$$Consumo = LV(30{,}1) + CH(57) + BS(34) + PC(55) + TQ(19{,}6) + ML(21{,}6) = 217{,}3\ \mathrm{l/pessoa/dia} \quad \text{(Eq. 6)}$$

onde: LV = lavatório; CH = chuveiro; BS = bacia sanitária; PC = pia da cozinha; TQ = tanque.

Esse consumo é teórico, e foi obtido considerando os usos internos, as vazões, frequências e tempos de utilização citados na literatura. O dispositivo mictório não foi sequer relacionado, devido à sua baixa utilização em residências. A utilização deste modelo para outros tipos de edificações requer adaptações diversas. Fica como uma sugestão para trabalhos futuros.

Poucos são os estudos que relacionam de forma direta o consumo com a classe social dos moradores. Neste trabalho será considerada a estimativa feita por Dias, Martinez e Libânio (2010) para o consumo com base na classe social, para o mês de dezembro de 2006, na cidade de Belo Horizonte (Quadro 3).

Quadro 3 – Estimativa de consumo per capita para a cidade de belo horizonte em dezembro de 2006

Classe social	Consumo per capita (l/hab./dia)
A	174
B	134
C	129
D e E	113

Fonte: adaptado de Dias; Martinez; Libânio (2010)

O valor calculado anteriormente será admitido como o consumo numa faixa de renda média (classe B). Corrigindo o consumo *per capita* da classe para o valor adotado (220 litros), e aplicando o mesmo índice às demais faixas, chega-se a fatores de correção por faixa de renda, que podem ser aplicados para corrigir o consumo (Quadro 4):

Quadro 4 – Fatores de correção a serem aplicados sobre o consumo per capita em função da classe de renda dos moradores

Classe social	Fator de correção do consumo	Consumo per capita (l/hab./dia)
A	1,30	286,0
B	1,00	220,0
C	0,96	211,2
D e E	0,84	184,8

Fonte: do autor

No entanto, a utilização desse fator ficará a cargo do projetista, devido à sua complexidade. Citem-se: enquadramento nas faixas de renda; ausência de dados para todo o Brasil; inexistência de mais estudos sobre a relação entre renda e consumo etc. Ou seja, a não utilização desses coeficiente não invalida os dados, apenas desconsidera a relação entre consumo e classe de renda.

Para a estimativa dos consumos externos, como mostrado por Tomaz (2000), o procedimento não considera vazão e tempo de uso. Utilizando os valores de Tomaz (2000), tem-se (Quadro 5):

Quadro 5 – Dados de consumo externo

Uso	Consumo (l/unidade)	Unidade	Frequência (vezes/dia)	Consumo (l/dia/unidade)
Rega de jardins ou gramados	2	m^2 de área	0,008667	0,017334
Lavagem de carro	150	lavagem	0,0667*(n° de carros)	10,005
Piscina	3	m^2 de área	0,008667	0,026001
Mangueira de jardim	50	dia	0,667	33,35

Fonte: adaptado de Tomaz (2000, p. 40-41)

Quanto à disponibilidade de água para consumo, a água potável é considerada disponível 100% do tempo; a mesma consideração vale para a água de reuso, pelas razões já expressas anteriormente. A disponibilidade da água pluvial para utilização será função do dimensionamento do reservatório de armazenamento de águas pluviais.

4.1.2 O período de retorno

Voltando à equação que define o problema (VPL = 0), o termo cuja determinação é mais trabalhosa é o fluxo de caixa. Inicialmente definido apenas como a diferença entre o preço do volume de água economizado e o custo de operação e manutenção do sistema, ele pode ser expandido, de modo a tornar-se função de dados de entrada, sejam configurados pelo usuário ou extraídos do modelo, como será explicado a seguir. A economia total será dividida entre economia interna e externa. O modo de calcular a economia variará de acordo com as seguintes combinações de medidas economizadoras selecionadas:

- [Dispositivos economizadores]: **Cenário 1.**
- [Pluvial]: **Cenário 2**.
- [Reuso]: **Cenário 3**.
- [Dispositivos economizadores + Reuso + Pluvial]: **Cenário 4**.
- [Dispositivos economizadores + Reuso]: **Cenário 4**.
- [Dispositivos economizadores + Pluvial]: **Cenário 5**.
- [Reuso + Pluvial]: **Cenário 3**.

No **cenário 1**, o volume interno economizado é igual à diferença entre os consumos dos dois sistemas. Os custos de operação e manutenção são admitidos iguais a zero.

No **cenário 2**, o volume interno economizado é igual ao volume de água pluvial utilizado pelo sistema, ou seja, igual à confiabilidade do suprimento de água pluvial multiplicado pela soma dos consumos dos aparelhos abastecidos por ele. No **cenário 3**, o volume interno economizado é igual ao volume de águas cinzas reutilizadas (água não potável), que é igual à soma dos consumos dos aparelhos abastecidos por elas, já que a confiabilidade do suprimento é admitida como 100%.

No **cenário 4**, o volume interno economizado é igual à diferença entre os consumos dos dois sistemas (considerando apenas os aparelhos abastecidos por água potável) somado ao consumo dos aparelhos abastecidos por água não potável (como a água cinza tratada e a água pluvial são tratadas pela norma em discussão na ABNT). A confiabilidade do suprimento de água não potável é admitida como 100%. No **cenário 5**, o volume interno economizado é igual à diferença entre os consumos dos dois sistemas (considerando apenas os aparelhos abastecidos por água potável), somado ao produto do consumo dos aparelhos abastecidos por águas pluviais pela confiabilidade desse abastecimento.

No **cenário 1**, o volume externo economizado é considerado nulo. Nos **cenários 2** e **5**, o volume externo economizado é considerado igual ao consumo externo multiplicado pela confiabilidade do suprimento de água pluvial. Nos **cenários 3** e **4**, o volume externo economizado é considerado igual ao consumo externo.

O custo de operação e manutenção é admitido como nulo no cenário 1. Nos cenários 2 e 5, é admitido como a energia consumida pela bomba de recalque que leva a água do da cisterna que recebe a água pluvial por gravidade ao reservatório superior, que abastece os pontos definidos em projeto. Nos casos 3 e 4, o custo de operação e manutenção incluirá mão-de-obra para operar a estação e tratamento, energia elétrica com tratamento e bombeamento, insumos requeridos pelo sistema, gerenciamento do lodo, e testes laboratoriais, a princípio.

A seguir estão apresentadas as equações para o fluxo de caixa (decorrente do consumo interno) por período para cada um dos cenários, descontados os custos de operação e manutenção:

- Cenário 1

$$FC_t = Pop \cdot \left\{ \left[\sum_{i=1}^{n_1} (VDT_i \cdot TUDT_i \cdot FDT_i) \right] - \left[\sum_{i=1}^{n_2} (VDE_i \cdot TUDE_i \cdot FDE_i) \right] \right\} (PA + PE) \quad \text{(Eq. 7)}$$

- Cenário 2

$$FC_t = Pop \cdot \left[CSAP \sum_{i=1}^{n_2} (VANP_i \cdot TUNAP_i \cdot FANP_i) \right] (PA + PE) \quad \text{(Eq. 8)}$$

- Cenário 3

$$FC_t = Pop \cdot \left[\sum_{i=1}^{n_2} (VANP_i \cdot TUANP_i \cdot FANP_i) \right] (PA + PE) \quad \text{(Eq. 9)}$$

- Cenário 4

$$FC_t = Pop \cdot \left\{ \left[\sum_{i=1}^{n_1} (VDT_i \cdot TUDT_i \cdot FDT_i) \right] - \left[\sum_{i=1}^{n_2} (VDE_i \cdot TUDE_i \cdot FDE_i) \right] + \left[\sum_{i=1}^{n_2} (VANP_i \cdot TUANP_i \cdot FANP_i) \right] \right\} (PA + PE) \quad \text{(Eq. 10)}$$

- Cenário 5

$$FC_t = Pop \cdot \left\{ \left[\sum_{i=1}^{n_1} (VDT_i \cdot TUDT_i \cdot FDT_i) \right] - \left[\sum_{i=1}^{n_2} (VDE_i \cdot TUDE_i \cdot FDE_i) \right] + CSAP \left[\sum_{i=1}^{n_2} (VANP_i \cdot TUANP_i \cdot FANP_i) \right] \right\} (PA + PE) \quad \text{(Eq. 11)}$$

onde: FC_t = fluxo de caixa para o período t (R$); Pop = população; VDT_i = vazão estimada do dispositivo tradicional i (l/s); $TUDT_i$ = tempo estimado por uso do dispositivo tradicional i (s); FDT_i = frequência estimada para o dispositivo tradicional i (usos/dia); VDE_i = vazão estimada do dispositivo economizador i; PA = preço da água

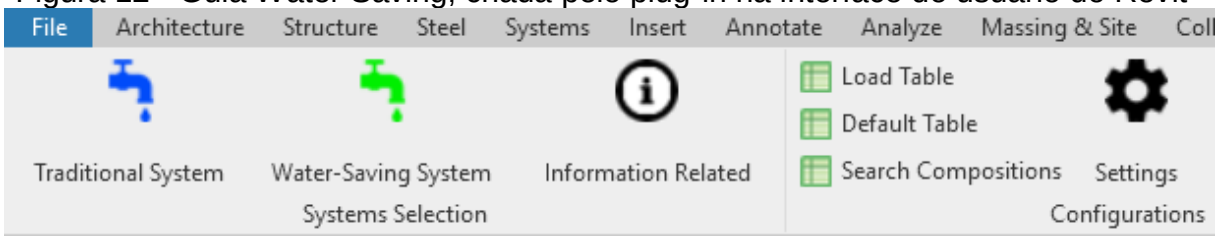
(R$/l); PE = preço do esgoto (R$/l); CSAP = confiabilidade do suprimento de água pluvial (%); VANP = vazão estimada do dispositivo abastecido por água não potável i; $TUANP_i$ = tempo estimado por uso do dispositivo abastecido por água não potável i; $FANP_i$ = frequência estimada para o dispositivo abastecido por água não potável i (usos/dia);

Os consumos externos são calculados conforme exposto na seção anterior, e os usos (lavagem de carros, rega de jardim etc.) para os quais o tipo de água selecionado seja água não potável são interpretados como economia.

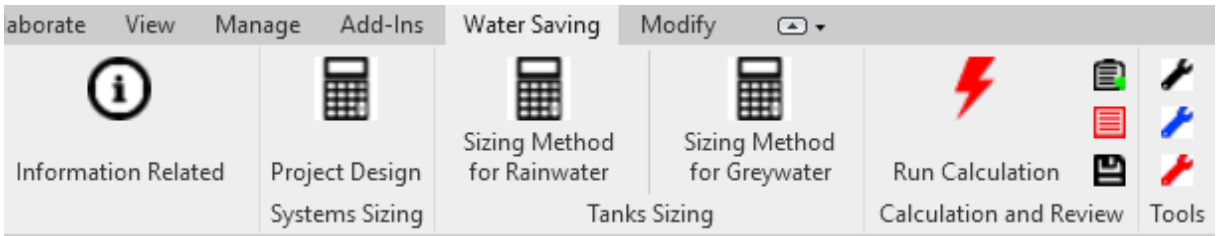
4.2 O MODELO COMO UM PLUG-IN PARA O REVIT®

O *plug-in* foi criado como uma guia adicional no Revit®, chamada de *Water Saving* (Economia de Água). A Figura 12 mostra a guia criada. Ela está dividida em duas partes apenas para facilitar a visualização. Todas as referências a partir deste ponto serão à versão em inglês do *software*.

Figura 12 - Guia Water Saving, criada pelo plug-in na interface do usuário do Revit®



a)



b)

Fonte: do autor

Como pode-se identificar na figura, a guia está dividida em seis painéis: *Systems Selection* (Seleção dos Sistemas); *Configurations* (Configurações); *System Sizing* (Dimensionamento do Sistema); *Tank Sizing* (Dimensionamento do Reservatório);

Calculation and Review (Cálculo e Revisão); e *Tools* (Ferramentas).

Os botões (comandos) de cada um dos painéis são os seguintes:

- *Systems Selection* (Seleção dos Sistemas): *Traditional System* (Sistema Tradicional); *Water-Saving System* (Sistema Economizador de Água); *Information Related* (Informação Relacionada).
- *Configurations* (Configurações): *Load Table* (Carregar Tabela); *Default Table* (Tabela Padrão); *Search Compositions* (Buscar Composições); *Settings* (Configurações); *Information Related*.
- *Systems Sizing* (Dimensionamento dos Sistemas): *Project Design* (Concepção do Projeto).
- *Tanks Sizing* (Dimensionamento dos Reservatórios): *Sizing Method for Rainwater* (Método de Dimensionamento para Água Pluvial); *Sizing Method for Greywater* (Método de Dimensionamento para Água Cinza).
- *Calculation and Review* (Cálculo e Revisão): *Run Calculation* (Processar Cálculo); *Review* (Revisão); *Calculation Memory* (Memorial de Cálculo); *Save/Open Backup File* (Salvar/Abrir Arquivo de Backup).
- *Tools* (Ferramentas): *Select All Instances With Matching Diameter And Angle* (Selecionar Todas as Instâncias Com Diâmetros e Ângulos Iguais); *Show Composition Description* (Mostrar Descrição da Composição); *Isolate the System Elements Without Valid Compositions Assigned in the View* (Isolar os Elementos do Sistema Sem Parâmetros Válidos Associados na Vista).

De maneira breve, as funcionalidades de cada um dos botões são:

- *Traditional System*: selecionar os elementos correspondentes ao sistema tradicional.
- *Water-Saving System*: selecionar os elementos correspondentes ao sistema com soluções para economia de água.
- *Information related*: exibir informações relacionadas à seleção dos sistemas.
- *Load Table*: carregar tabelas de composições unitárias de custos.
- *Default Table*: permitir que o usuário abra uma tabela em branco nos padrões que devem ser obedecidos para a criação de um nova tabela de custos.
- *Search Compositions*: buscar composições nas tabelas carregadas no *plug-in*

e associá-las aos elementos do projeto.

- *Settings*: permitir as configurações que caracterizarão a edificação, e regerão os cálculos.
- *Information Related*: exibir informações relacionadas às configurações dos sistemas.
- *Project Design*: exibir informações relacionadas ao projeto e dimensionamento dos sistemas.
- *Sizing Method For Rainwater*: exibir informações relacionadas ao dimensionamento de reservatórios para águas pluviais.
- *Sizing Method for Grewater*: exibir informações relacionadas ao dimensionamento de reservatórios para águas cinzas.
- *Run Calculation*: processar os cálculos e exibir o resultado.
- *Review*: exibir a janela de revisão dos sistemas e configurações;
- *Calculation Memory*: exibir o memorial de cálculo.
- *Save/Open Backup File*: exibir informações sobre a abertura e salvamento do trabalho feito com o *plug-in*.
- *Select All Instances With Matching Diameter (And Angle)*: selecionar todas as instâncias do elemento selecionado, utilizando o diâmetro e o ângulo como filtros.
- *Show Composition Description*: exibir a descrição da composição do elemento selecionado.
- *Isolate the System Elements Without Valid Compositions Assigned in the View*: isolar na vista atual apenas os elementos sem composições válidas associadas.

Cada um desses botões acessa uma classe dentro do software. Algumas correspondem a códigos puros, ou seja, apenas um arquivo de extensão CS, outras correspondem a WPFs (*Windows Presentation Foundations*). WPFs são aplicações compostas por duas partes: o arquivo de extensão XAML e o arquivo de extensão XAML.CS. O arquivo do tipo XAML constitui a parte gráfica da aplicação, onde é possível criar a interface gráfica do zero, praticamente desenhando o que se quer exibir. O arquivo de extensão XAML.CS (conhecido na linguagem da programação como *code behind*, ou código por trás) é onde se implementa as funcionalidades da

aplicação: como ela reagirá às informações fornecidas pelo programa principal (o Revit®), como ela reagirá às ações do usuário.

O ciclo de vida de cada uma dessas aplicações é diferente. O *plug-in* é iniciado quando o Revit® é aberto, e finalizado quando o Revit® é fechado. Ou seja, todas as informações inseridas no *plug-in* permanecerão atualizadas enquanto o Revit® permanecer aberto. Se o usuário salvar as alterações no arquivo do Revit® e fechar a aplicação, ao abri-la novamente, por padrão, o *plug-in* estará em branco, ou seja, todas as informações fornecidas a ele terão sido perdidas, porque essas informações não serão salvas com o arquivo do Revit® (de extensão RVT). Trata-se de um arquivo proprietário, de propriedade da Autodesk®, protegido por patente, e que não pode ser modificado.

Uma solução alternativa para o problema foi adotada: quando o usuário utiliza o *plug-in*, esse dado fica armazenado numa variável. As modificações de configurações e sistemas são armazenadas num arquivo TXT. Quando o arquivo do Revit® é salvo, caso a variável indique que o *plug-in* foi utilizado, é criado um arquivo ZIP de mesmo nome do arquivo RVT, no mesmo local, contendo o TXT com as informações e as tabelas carregadas. Quando um arquivo é aberto, o *plug-in* verifica se no mesmo diretório existe um arquivo ZIP de mesmo nome, e se houver ele lê do TXT os parâmetros e sistemas salvos anteriormente, e carrega as tabelas contidas no arquivo. Se tal arquivo não existir, nada é feito.

Para isso, foi necessário modificar os eventos nativos do Revit® de salvar (*Save*) e abrir (*Open*) arquivos. O evento *Save As* também foi alterado, permitindo que o mecanismo citado funcione igualmente se o nome do arquivo for alterado no momento de salvar.

Agora, falando novamente sobre o ciclo de vida das aplicações, cada código, cada um dos botões disponíveis na guia criada possui um ciclo de vida independente. Cada um deles começa a ser executado quando o usuário clica, e termina sua execução instantes depois (no caso de códigos puros), ou quando a janela é fechada (no caso de WPFs). Ou seja, era necessário criar pontes entre cada uma dessas aplicações. Isso foi feito através de uma classe específica, chamada de *GVC* (sigla para

GlobalVariablesClass, ou ClasseDasVariáveisGlobais), localizada no mesmo arquivo *App.cs* que criou a guia, os painéis e os botões. Esse arquivo é iniciado quando o Revit® é aberto, e finalizado quando o Revit® é fechado, ou seja, suas variáveis existirão enquanto o Revit® estiver em uso. Assim, utilizando variáveis globais armazenadas nessa classe os botões podem interagir, e utilizar resultados uns dos outros.

A utilização do *plug-in* segue o fluxo descrito a seguir:

1. Após a completa modelagem dos sistemas (tradicional e com soluções para economia de água), cada um é selecionado utilizando o botão respectivo (*Traditional System* ou *Water-Saving System*). Para a seleção dos sistemas, a propriedade *Phase Created* deve estar corretamente definida para todos os elementos, da seguinte forma: *Existing* (Existente) para o sistema tradicional, e *New Construction* (Nova Construção) para o sistema com soluções para economia de água. Se isso não for feito corretamente, o *plug-in* apresenta erro, e o sistema não é selecionado. Essa configuração facilita a visualização dos sistemas separadamente, através do parâmetro *Phase Filter*.
2. Carregamento das tabelas de composições de custos unitários, através do botão *Load Table*.
3. Pesquisa e associação de composições aos itens que compõem os sistemas, através do botão *Search Compositions*. Na janela, é possível filtrar as composições por palavras-chave. Com uma linha selecionada, ao clicar em Ok, a composição correspondente é associada aos elementos selecionados.
4. Realização das configurações que nortearão os cálculos, que dizem respeito às características da edificação e às características da ocupação, através do botão *Settings*.
5. Processamento dos cálculos, através do botão *Run Calculation*.

O investimento inicial, dado pela diferença entre os orçamentos dos sistemas, é calculado na janela *Review*, que possui, entre suas abas: *Traditional Budget* (Orçamento Tradicional) e *Water-Saving Budget* (Orçamento de Economia de Água). Cada uma dessas abas contém o respectivo orçamento, de cada um dos sistemas. Esses orçamentos podem ser exportados para o formato XLS (do Micriosoft Excel). Com os orçamentos são utilizados pelo botão *Run Calculation*, para que nenhum

botão tenha requisitos para o uso (como exigir que o usuário clique em outro botão anteriormente), ao clicar em *Run Calculation*, o próprio comando já simula o clique no botão *Review*.

Na verdade, ele simula anteriormente o clique no botão *Calculation Memory*, com a diferença de que a janela correspondente ao memorial não é exibida, mas apenas uma janela com o resultado.

Todos as informações são atualizadas automaticamente. Qualquer modificação feita nas configurações será refletida no cálculo; qualquer modificação feita no modelo será refletida nos orçamentos, e por consequência no cálculo. Todas as exigências computacionais foram simuladas, quando foi necessário, para garantir uma execução limpa.

Por exemplo, quando se tenta abrir um WPF, ele faz uso de variáveis, passadas como argumentos (que dizem respeito à aplicação, vista atual, arquivo aberto, e estão com valores nulos). Essas variáveis (que não podem ser guardadas na forma de texto, no TXT salvo com o arquivo RVT) estão todas nulas até que o método *Execute* do botão clicado seja executado. Esse método utiliza esses parâmetros, que podem ser armazenados em variáveis globais e utilizados a partir de então.

Mas o evento *Initialized* desse WPF é acionado antes do método *Execute*. Se no código desse evento for inicializado um segundo WPF, ocorrerá um erro, porque os parâmetros utilizados para tal serão nulos. Uma saída seria estabelecer que outro botão fosse acionado anteriormente como pré-requisito. No entanto, isso seria uma limitação para a solução. Todas essas limitações foram superadas, com o uso de artifícios computacionais.

4.3 O PLUG-IN APLICADO A UM CASO REAL

Como exemplo da aplicação do *plug-in*, será considerada uma edificação de dois pavimentos (Figura 13):

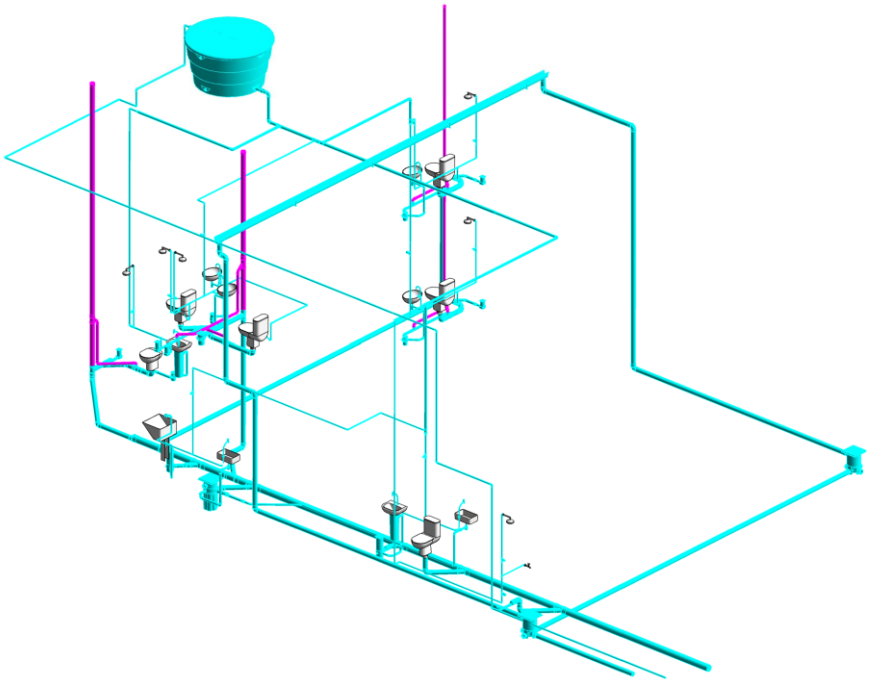
Figura 13 – Arquitetura da edificação utilizada para a aplicação do plug-in



Fonte: do autor

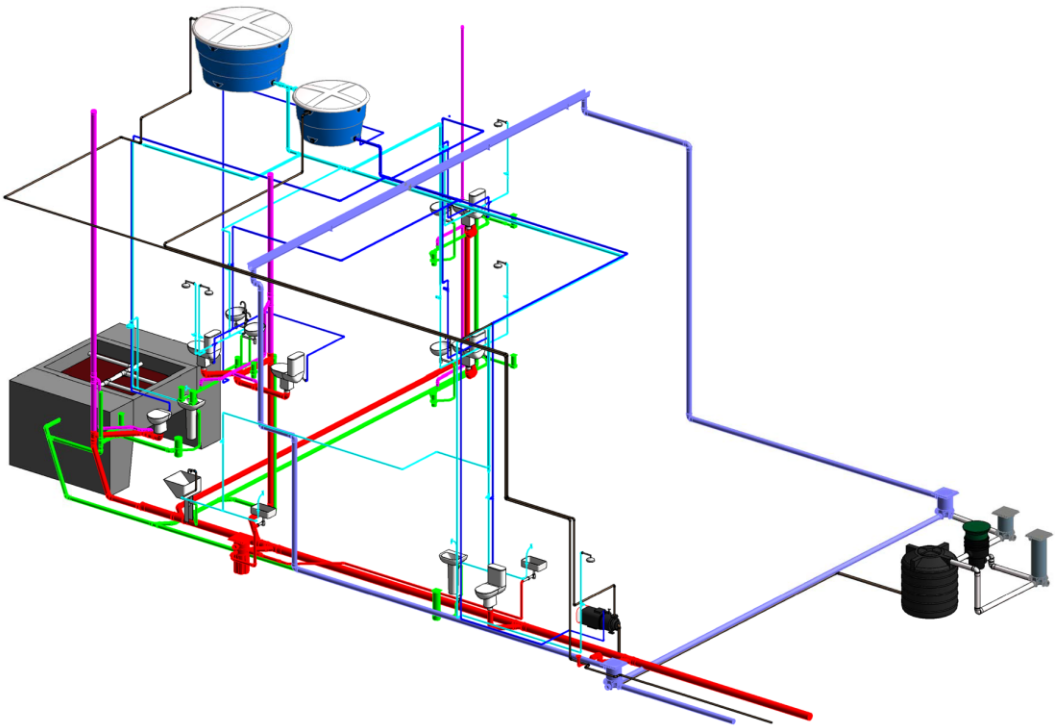
Nessa edificação, cuja arquitetura foi obtida pronta no Revit®, foram criados dois sistemas: um tradicional (Figura 14), e um dotado de soluções para economia de água (Figura 15).

Figura 14 – Sistema tradicional



Fonte: do autor

Figura 15 – Sistema com soluções para economia de água

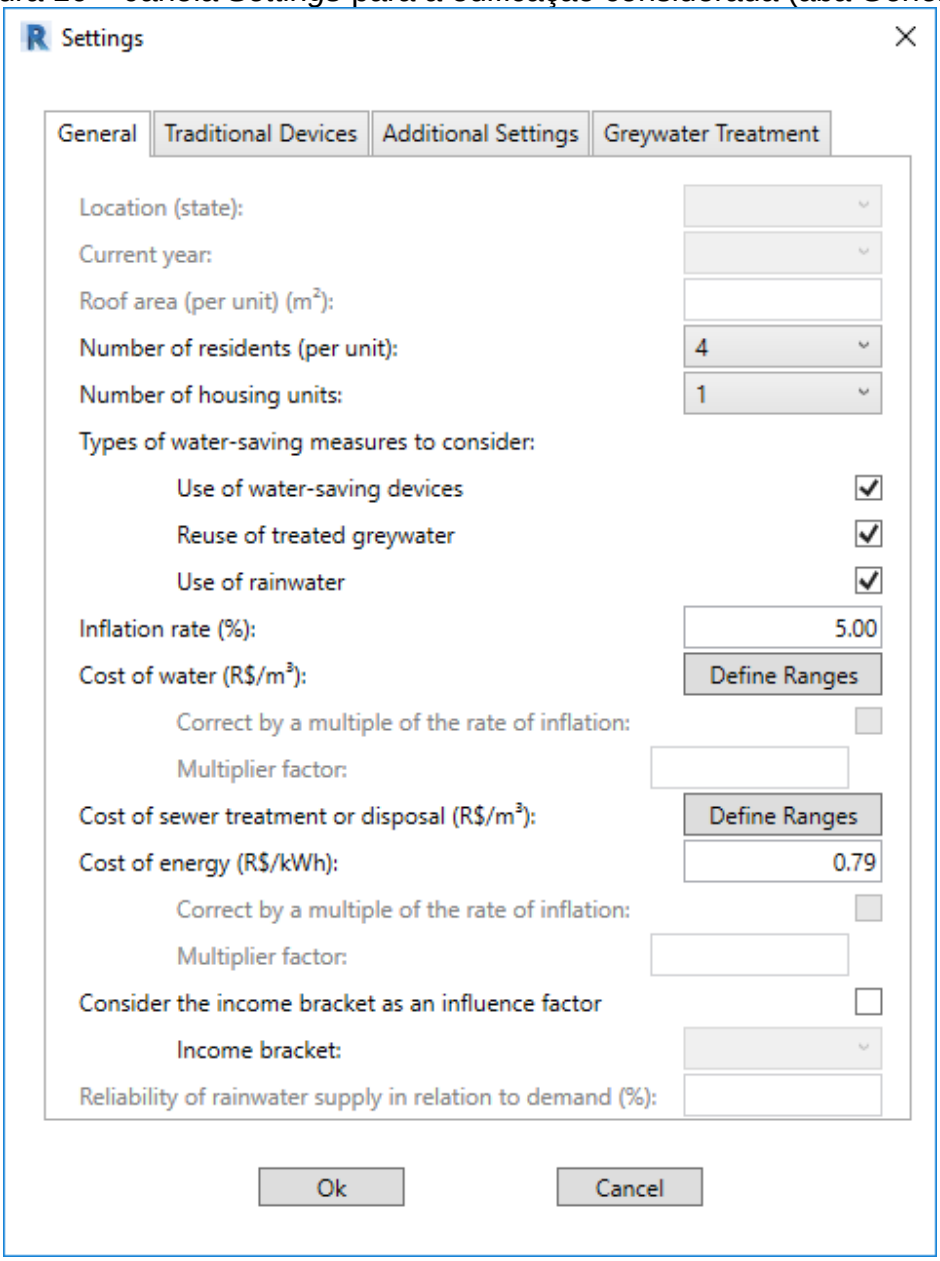


Fonte: do autor

O sistema tradicional foi projetado sem considerar qualquer solução para economia de água: reservatório e rede de abastecimento únicos; rede de esgoto única, encaminhando os efluentes para a rede pública de esgoto; rede pluvial encaminhando a agua para a rede pública de drenagem. O sistema com soluções para economia de água foi projetado considerando as seguintes: uso de dispositivos economizadores; reuso de águas cinzas; e aproveitamento de águas pluviais.

A seguir serão apresentadas as abas da janela de *Settings* (Configurações), que caracterizam a edificação e o consumo dentro do *plug-in* (Figuras 16, 17, 18 e 19):

Figura 16 – Janela *Settings* para a edificação considerada (aba *General*)

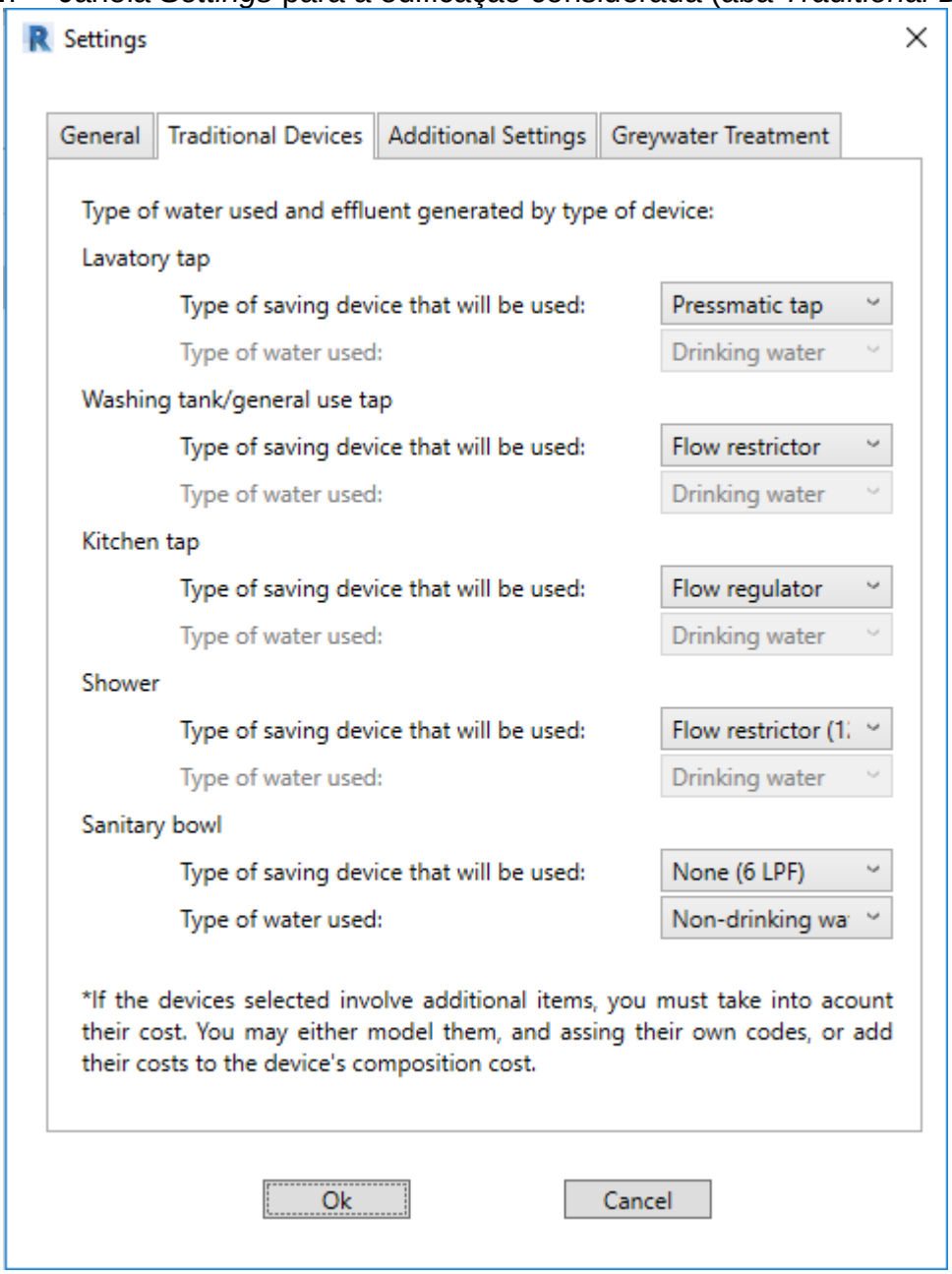


Fonte: do autor

Os itens *Location (state)* [Localização (estado)], *Current Year* (Ano Atual) e *Roof Area (per unit)* [Área do Telhado (por unidade)] estão desabilitados pois estão relacionados ao dimensionamento do reservatório de águas pluviais, e esta funcionalidade não foi incluída nesta versão do software, mas foi considerada como uma possibilidade para versões futuras. Os itens foram mantidos devido à relevância da questão. Os itens *Correct by a multiple of the inflation rate* (Corrigir por um múltiplo da taxa de inflação) e *Multiplier factor* (Fator multiplicador), tanto para a energia quanto para a água, estão desabilitados por motivo semelhante. A possibilidade de considerar múltiplos da

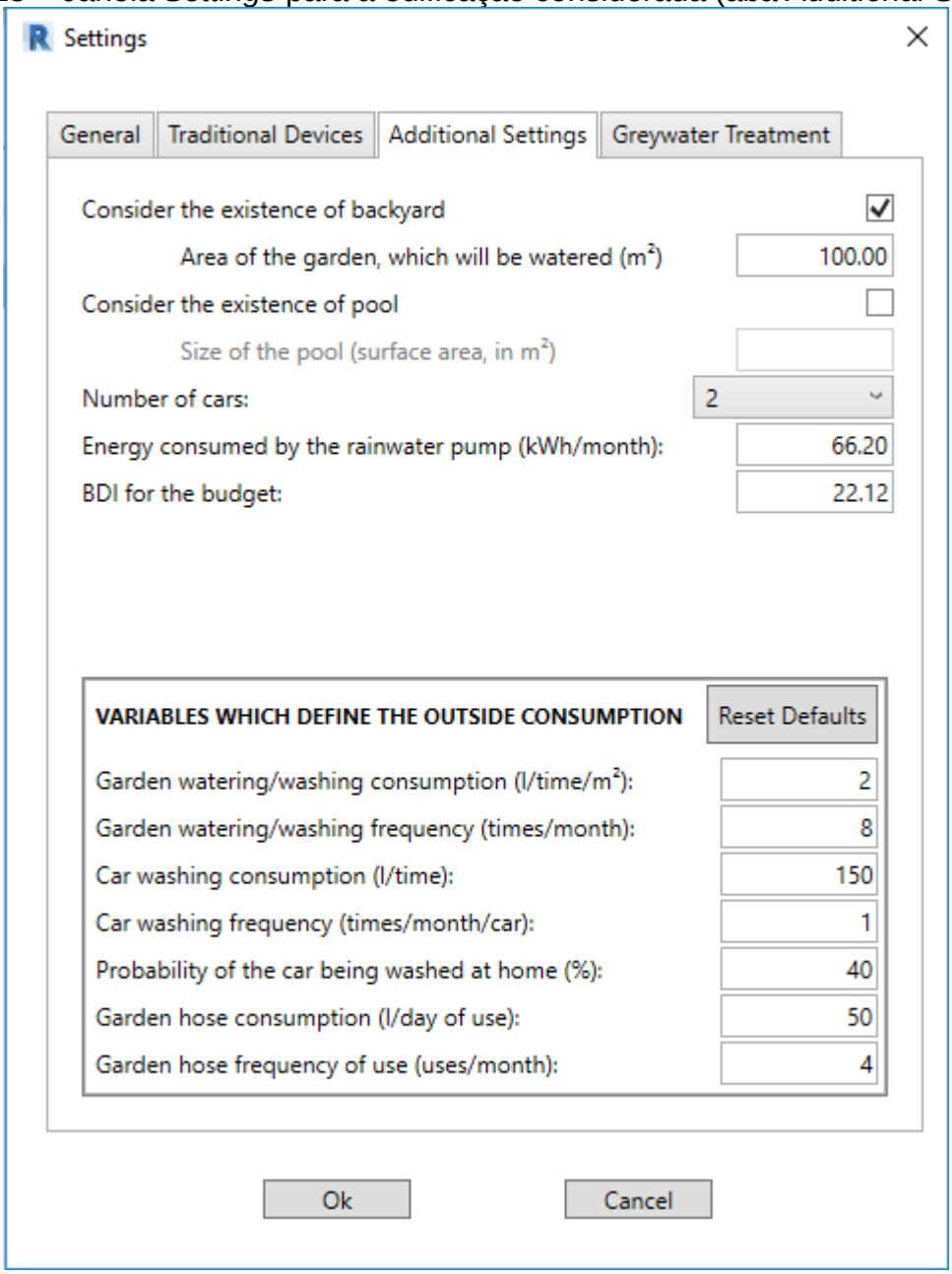
inflação corrigindo os preços da água e da energia não foi incluída nesta versão do software, mas foi considerada como uma possibilidade para versões futuras. Os itens também foram mantidos devido à sua relevância.

Figura 17 – Janela *Settings* para a edificação considerada (aba *Traditional Devices*)



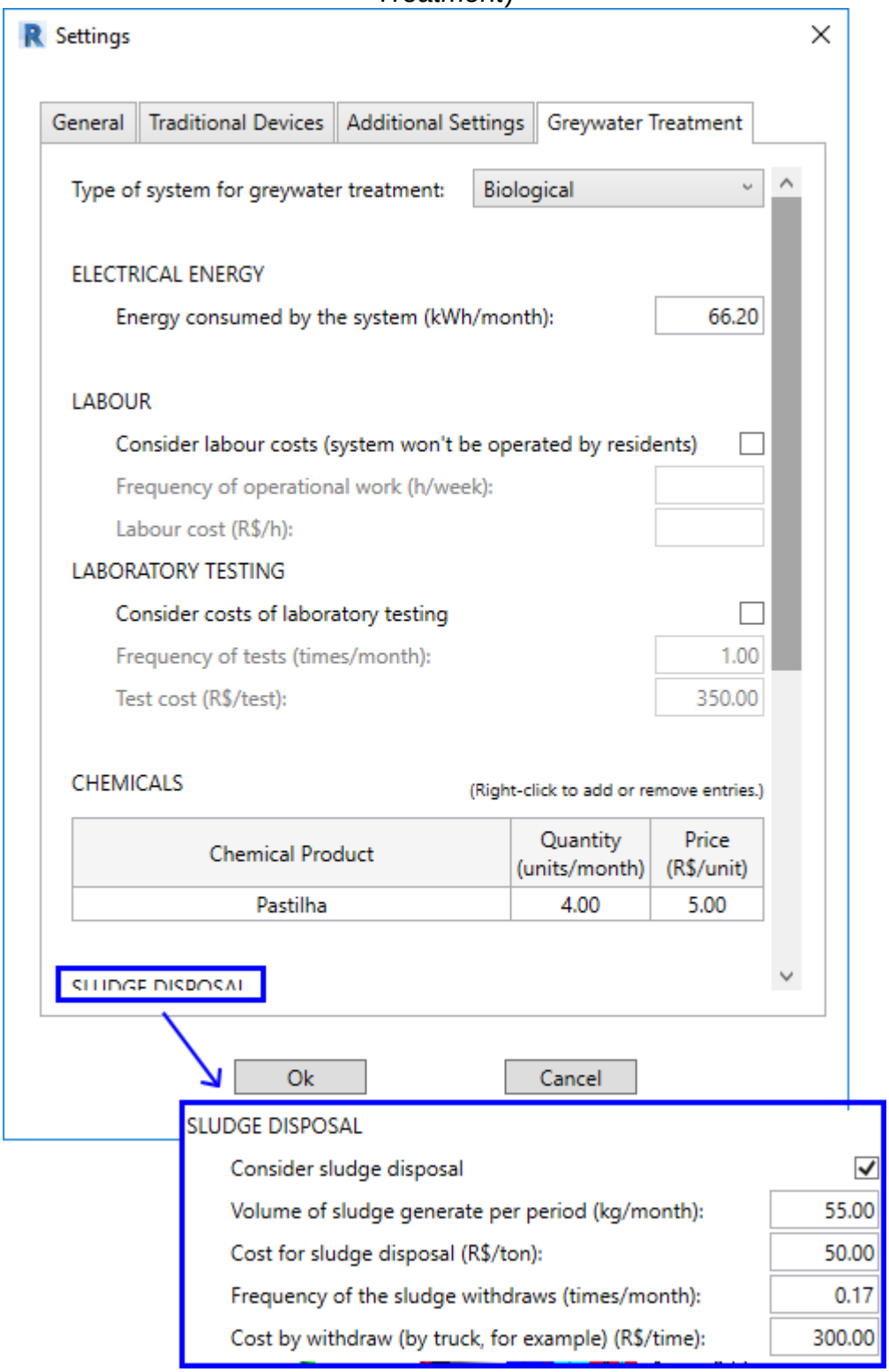
Fonte: do autor

Figura 18 – Janela *Settings* para a edificação considerada (aba *Additional Settings*)



Fonte: do autor

Figura 19 – Janela *Settings* para a edificação considerada (aba *Greywater Treatment*)

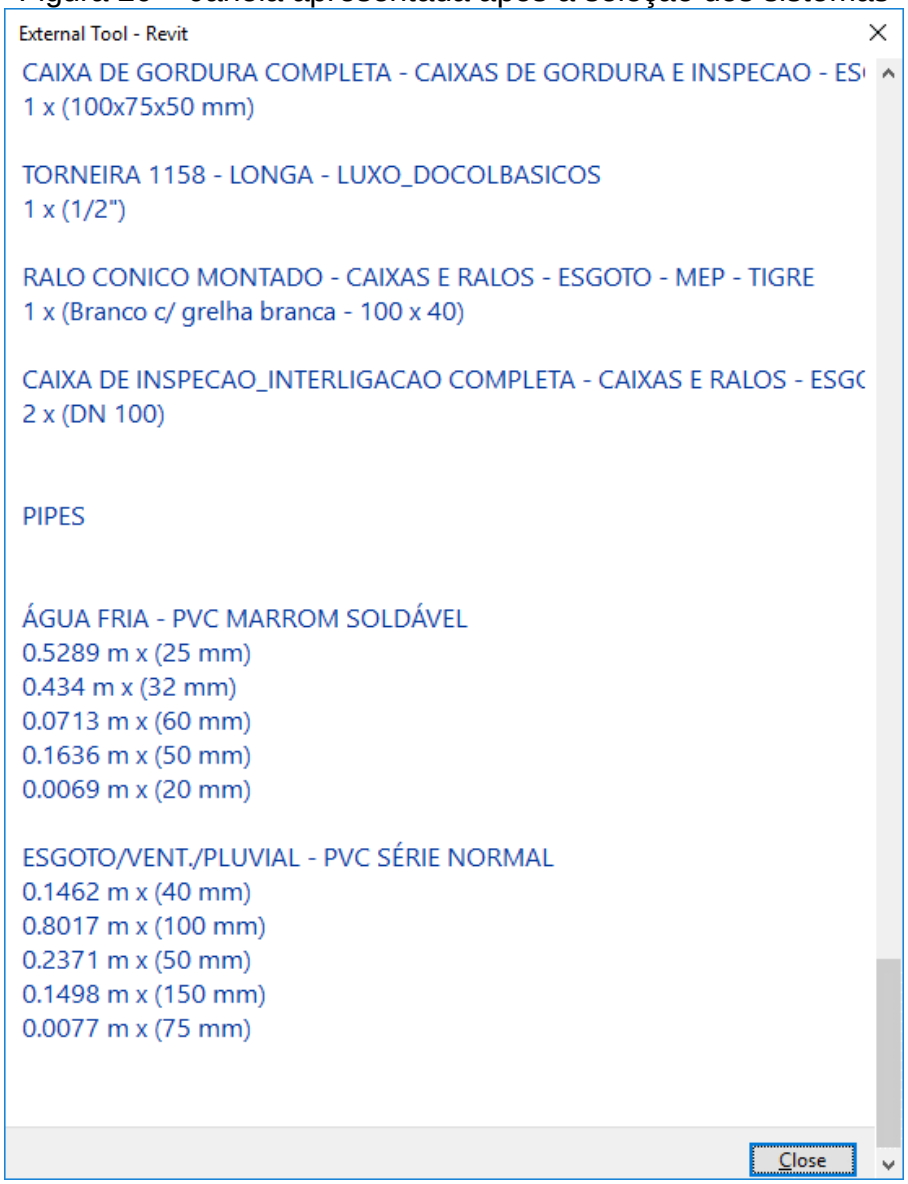


Fonte: do autor

Após realizadas as configurações, os sistemas foram selecionados. Os elementos de cada um dos sistemas, após a seleção, são apresentados numa janela de texto,

divididos de acordo com os tipos, com suas respectivas quantidades (Figura 20).

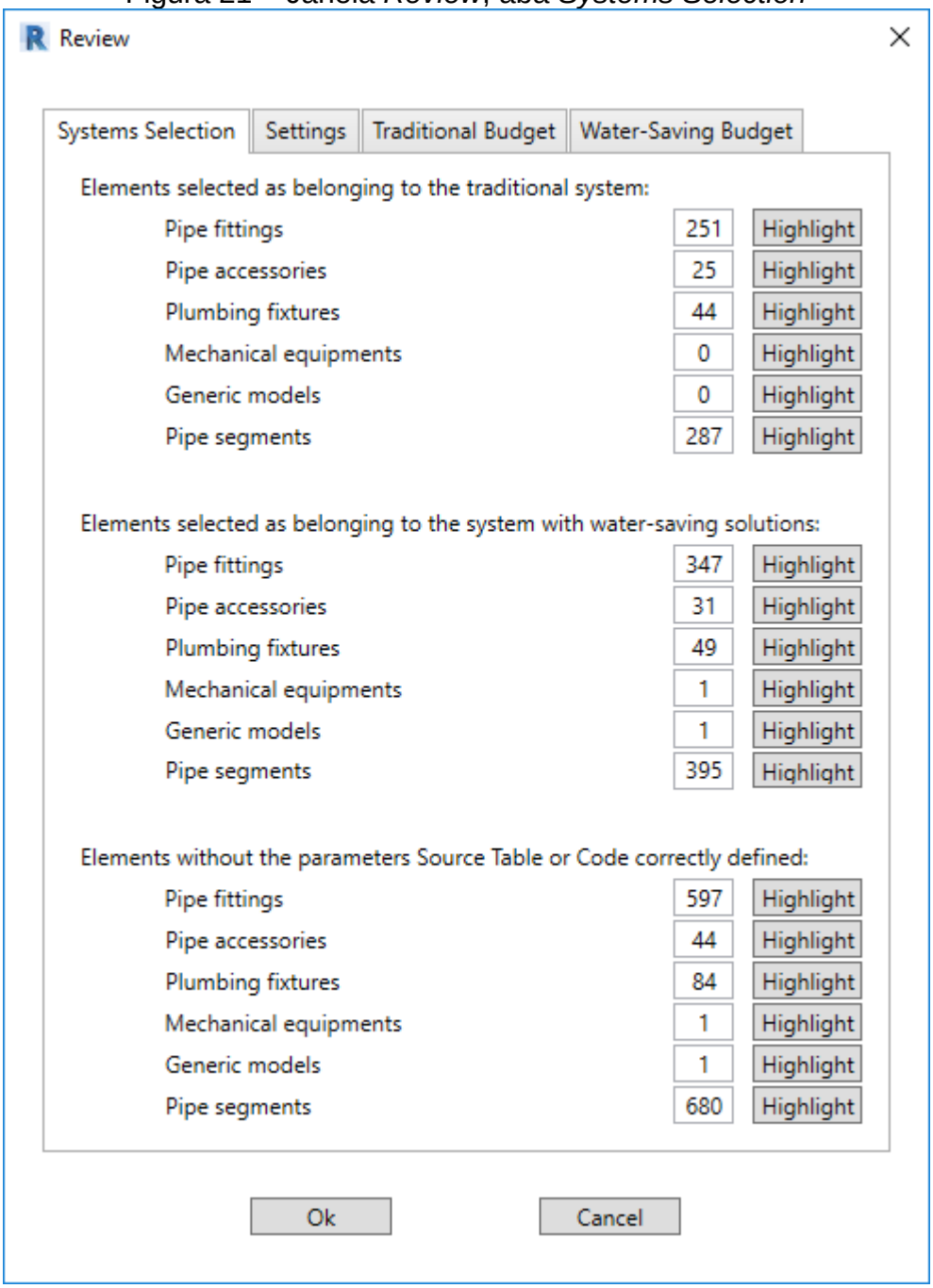
Figura 20 – Janela apresentada após a seleção dos sistemas



Fonte: do autor

Após selecionados os sistemas, a janela *Review*, na aba *Systems Selection* (Figura 21), irá apresentar os elementos de cada um dos sistemas separadamente; ao lado de cada um dos grupos de elementos, o botão *Highlight* (Realçar), que seleciona os elementos na vista atual. Na terceira área da janela, são exibidos os elementos com erros, ou seja, que não apresentam um valor numérico para *Total Cost* (Custo total), considerando os parâmetros *Code* e *Source Table*.

Figura 21 – Janela *Review*, aba *Systems Selection*

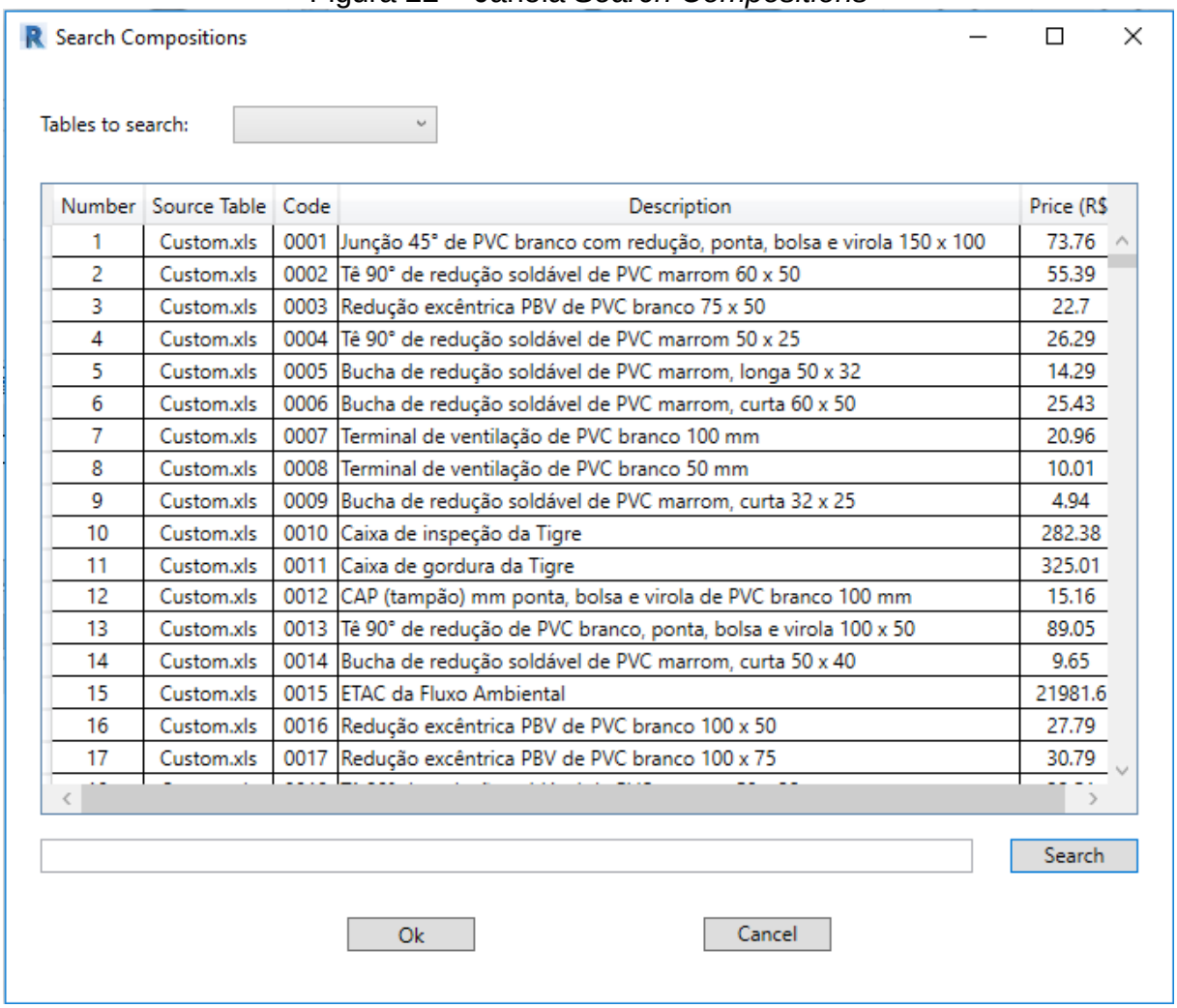


Fonte: do autor.

Todos os elementos dos dois sistemas apresentam erro. Para que isso deixe de acontecer, a eles precisam ser associados códigos válidos. Nesse exemplo, foram utilizadas tabelas com composições do SINAPI, do IOPES e ainda uma tabela com composições próprias, contendo os serviços que não foram encontrados nas outras bases de dados.

Para associar códigos válidos aos elementos, basta selecioná-los na vista, clicar em *Search Compositions*, e selecionar a composição na janela (Figura 22).

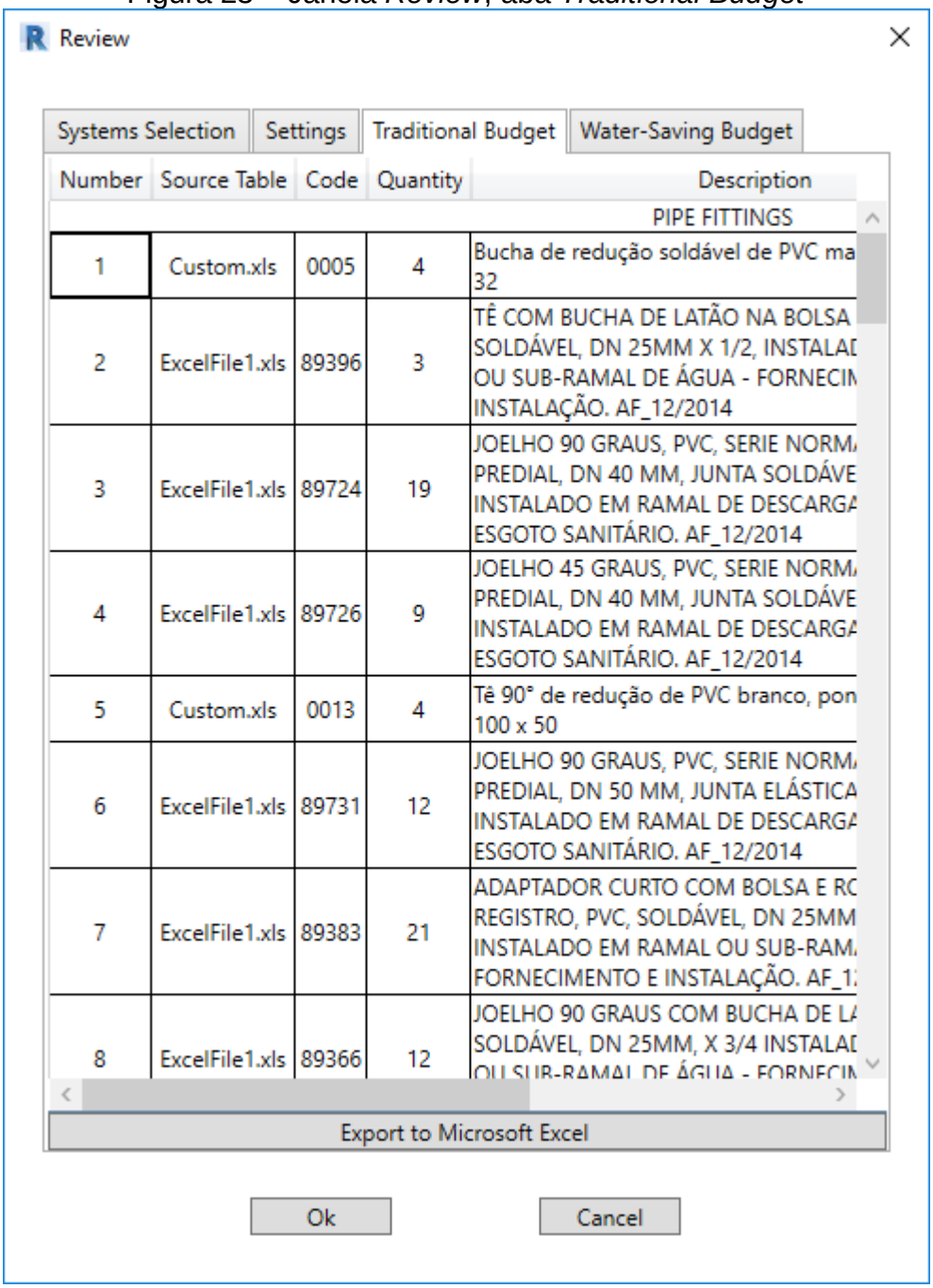
Figura 22 – Janela *Search Compositions*



Fonte: do autor.

Nas demais abas da janela *Review* são apresentadas as configurações do projeto e os orçamentos dos sistemas (Figura 23). Pode-se exportar os orçamentos para o Microsoft® Excel.

Figura 23 – Janela *Review*, aba *Traditional Budget*



Fonte: do autor.

Após atribuídos todos os códigos, a terceira parte da janela *Review*, na aba *Systems Selection*, onde são apresentados os elementos com erros, terá todos os campos nulos, indicando que não há erros. Nesse momento, pode-se proceder os cálculos.

Importante ressaltar os passos verificados pelo *plug-in* antes do processamento dos cálculos. As configurações precisam estar corretas. Cada aba da janela *Settings*

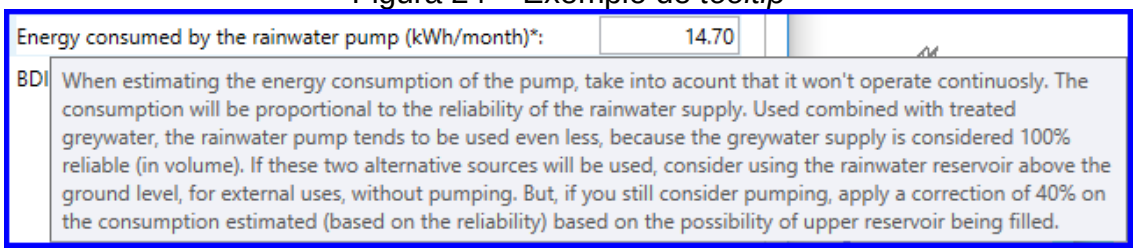
possui um parâmetro chamado *settingsOk* (do tipo booleano, ou seja, podendo ser verdadeiro ou falso), que é falso no caso de haver algum problema com as configurações daquela aba, e verdadeiro no caso de estar tudo correto. Caso haja problemas nas configurações, ao tentar processar os cálculos, uma mensagem será apresentada para o usuário indicando exatamente qual é a aba que está com problema. Da mesma forma, problemas com as seleções dos sistemas ou os códigos impedem o processamento dos cálculos, e são indicados ao usuário.

Todos os erros possíveis na utilização do *plug-in* foram tratados. O termo computacional para isso é *"handle exceptions"* (que pode ser traduzido como "tratar excessões"). Exceções podem ocorrer a qualquer momento durante a execução de um código, seja por um comportamento não esperado do usuário, seja pela interferência com algum outro processo em execução, entre muitas outras possibilidades. Digitar letras num campo que espera um valor numérico, por exemplo. Se isso não for tratado, a aplicação principal (o Revit®) deixará de responder, e em seguida será encerrada. As exceções podem ser prevenidas, por exemplo, verificando se um valor não é nulo antes de utilizá-lo. Mas é impossível prevenir todos os erros possíveis. E essas exceções precisam ser tratadas.

Em alguns casos, isso é feito restringindo o que o usuário pode fazer. Como exemplo, em campos numéricos apenas números e o primeiro ponto são lidos; se o usuário digitar uma letra, um ponto antes do primeiro número, ou dois pontos, nada acontecerá. Em outros casos, quando exceções são esperadas, pode-se fazer o código ignorar essas exceções e seguir em frente (através de um tratamento dessas exceções, que pode ser genérico ou voltado a um tipo específico). Ou a exceção pode ser apresentada ao usuário. Isso acontece ocasionalmente em todos os softwares utilizados hoje: Microsoft® Word, Microsoft® Excel, Adobe® Photoshop, para citar alguns.

Além de janelas informativas em alguns casos, outra forma de informação ao usuário adotada foi a utilização de *tooltips* (termo que pode ser traduzido como "dicas das ferramentas"). Por exemplo, quando o usuário passa o *mouse* sobre o texto *"Energy consumed by the rainwater pump (kWh/month)"*, uma *tooltip* é exibida (Figura 24), orientando sobre como preencher o campo.

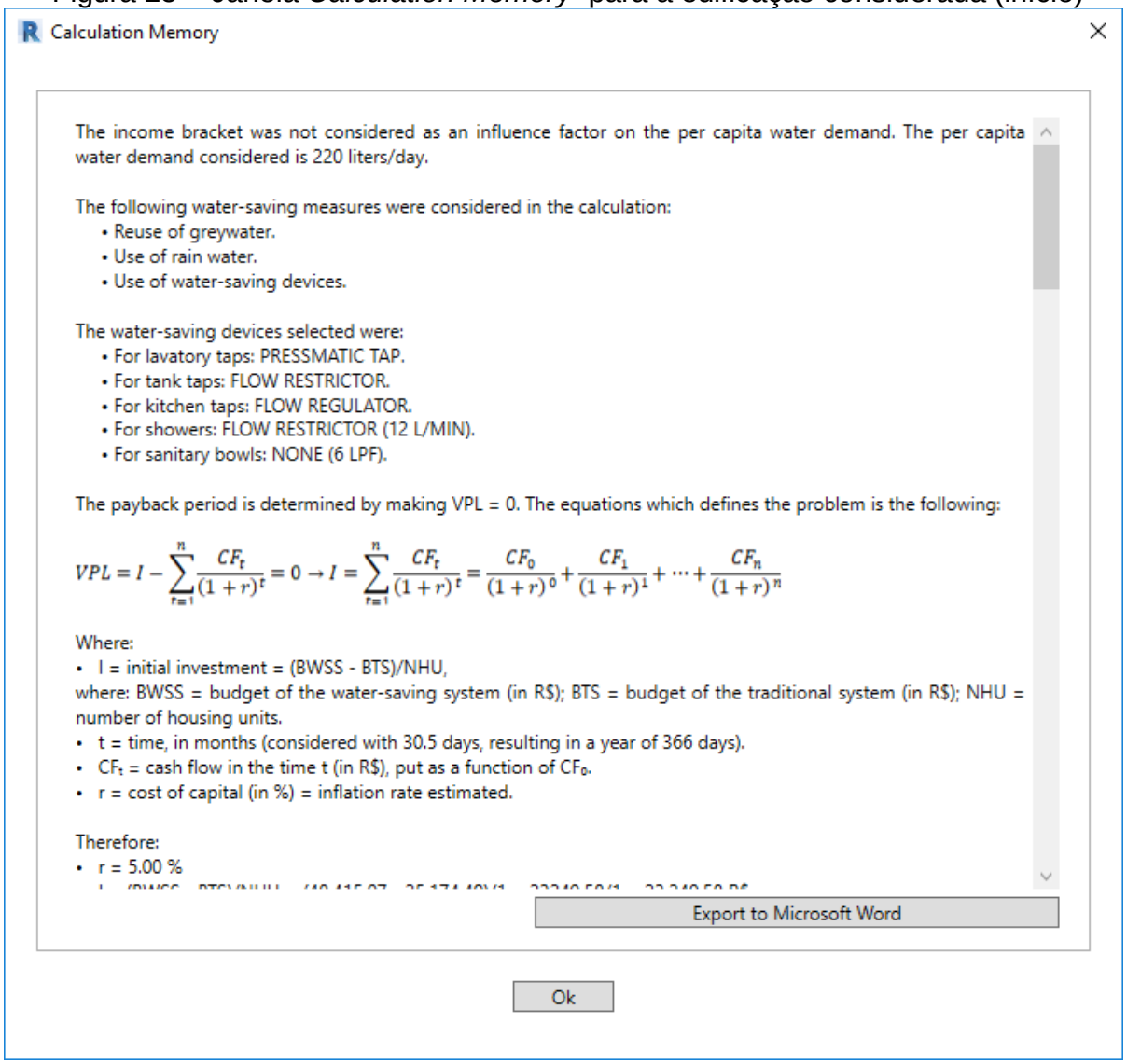
Figura 24 – Exemplo de *tooltip*



Fonte: do autor

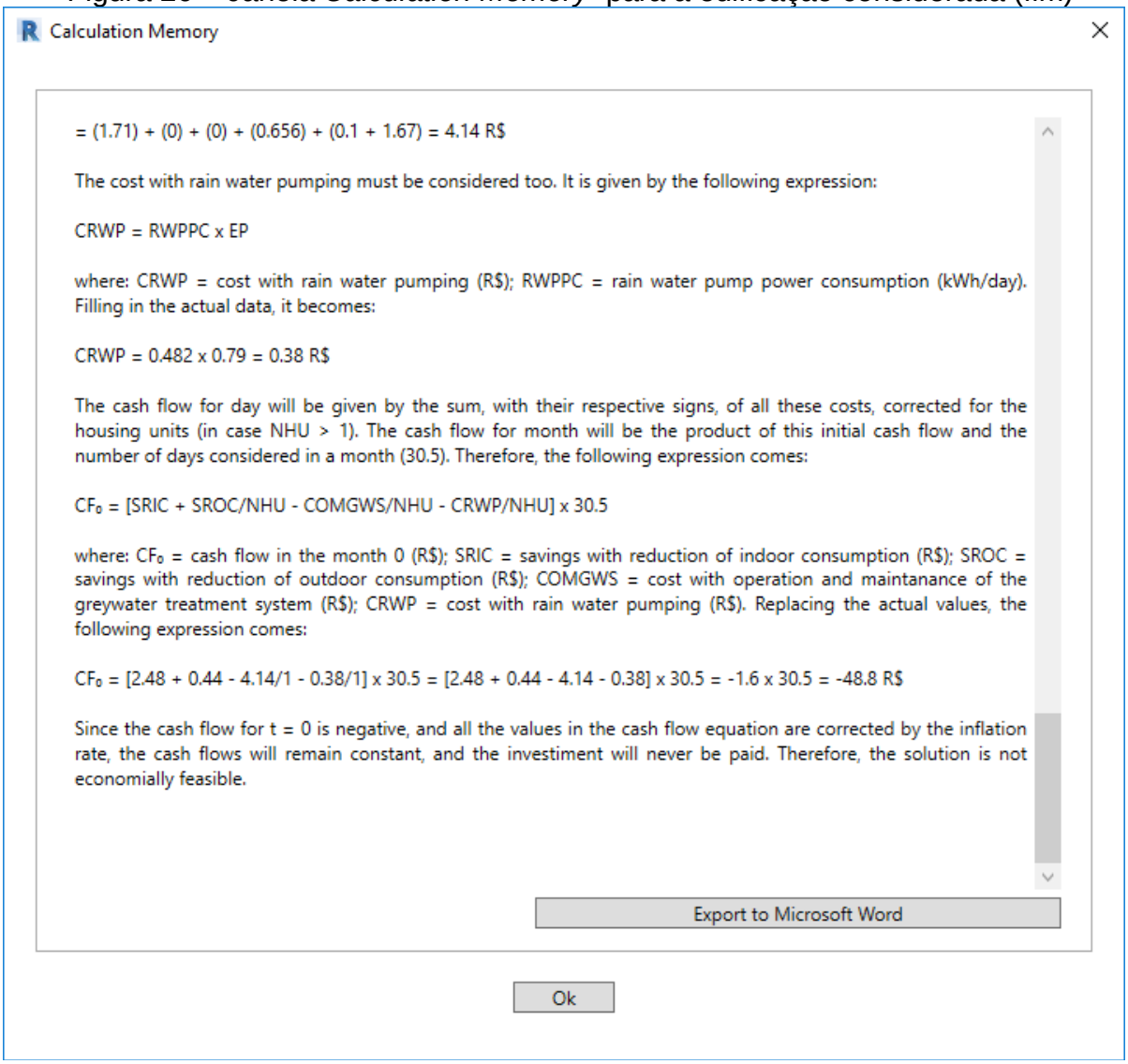
Retomando o processamento dos cálculos, o que o botão *Run Calculation* faz é simular o clique do botão *Calculation Memory*. No entanto, o memorial é gerado de forma oculta. A única coisa apresentada ao usuário é uma janela com o resultado. As Figuras 25 e 26 mostram a janela *Calculation Memory* (início e fim da janela).

Figura 25 – Janela *Calculation Memory* para a edificação considerada (início)



Fonte: do autor

Figura 26 – Janela *Calculation Memory* para a edificação considerada (fim)



Fonte: do autor.

Para detalhar o procedimento de cálculo do *plug-in*, será reproduzido, por completo, o memorial de cálculo para o exemplo, no entanto, em português:

“Memorial de Cálculo

A faixa de renda não foi considerada como um fator de influência sobre a demanda per capita de água. A demanda per capita de água considerada é de 220 litros/dia.

As seguintes medidas para a economia de água foram consideradas no cálculo:

- *Reuso de águas cinzas.*
- *Uso de águas pluviais.*

- *Uso de dispositivos economizadores.*

Os dispositivos economizadores selecionados foram:

- *Para torneiras de lavatório: TORNEIRA HIDROMECÂNICA.*
- *Para torneiras de tanque: RESTRITOR DE VAZÃO.*
- *Para torneiras de cozinha: REGULADOR DE VAZÃO.*
- *Para chuveiros: REGULADOR DE VAZÃO (12 L/MIN).*
- *Para bacias sanitárias: NENHUM (6 LPF).*

O período de retorno é determinado a partir de VPL = 0. A equação que define o problema é a que segue:

$$VPL = I - \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+r)^t} = 0 \rightarrow I = \sum_{t=1}^{n} \frac{FC_t}{(1+r)^t} = \frac{FC_0}{(1+r)^0} + \frac{FC_1}{(1+r)^1} + \cdots + \frac{FC_n}{(1+r)^n}$$

onde:

- *I = Investimento inicial = (OSE – OST)/NUH,*

  onde: OSE = orçamento do sistema economizador (em R$); OST = orçamento do sistema tradicional (em R$); NUH = número de unidades habitacionais.
- *t = Tempo, em meses (considerados com 30.5 dias, resultando num ano de 366 dias).*
- *FC_t = Fluxo de caixa no tempo t (em R$), colocado como uma função e FC_0.*
- *r = Custo do capital (em %) = Taxa de inflação estimada.*

Assim:

- *r = 5,00 %.*
- *I = (OSE – OST)/NUH = (48.415,07 – 23.351,76)/1 = 48.415,07 – 23.351,76 = 25.063,31 R$*
- $FC_0 = VE(PA + PE) - COM = (VIE + VEE)(PA + PE) - COM$

onde: FC_0 = fluxo de caixa no tempo t = 0 (por unidade habitacional); VE = volume economizado (por unidade habitacional); PA = preço da água; PE = preço do esgoto; COM = custo de operação e manutenção do sistema; VIE = volume interno

economizado; VEE = volume externo economizado. Adotando VIE x (PA + PE) = FC_{01} e VEE x (PA + PE) = FC_{02}, e dividindo os valores comuns pelo número de unidades habitacionais (NUH), é obtida a seguinte expressão:

$$FC_0 = FC_{01} + \frac{FC_{02}}{NUH} - \frac{COM}{NUH}$$

Determinando inicialmente o valor de FC_{01}, surge a seguinte expressão:

$$FC_{01} = Pop \cdot \left\{ \left[\sum_{1=1}^{n_1} (VDT_i \cdot TDT_i \cdot FDT_i) \right] - \left[\sum_{1=1}^{n_1} (VDE_i \cdot TDE_i \cdot FDE_i) \right] + \left[\sum_{1=1}^{n_1} (VDAC_i \cdot TDAC_i \cdot FDAC_i) \right] \right\} (PA + PE)$$

onde: Pop = população da edificação (por unidade habitacional); VDT_i = vazão estimada do dispositivo tradicional i (l/s); TDT_i = tempo estimado por uso do dispositivo tradicional i (s); FDT_i = frequência estimada para o dispositivo tradicional i (usos/dia); VDE_i = vazão estimada do dispositivo economizador i (l/s); TDE_i = tempo estimado por uso do dispositivo economizador i (s); FDE_i = frequência estimada para o dispositivo economiador i (usos/dia); $VDAC_i$ = vazão estimada do dispositivo abastecido por águas cinzas i (l/s); $TDAC_i$ = tempo estimado por uso do dispositivo abastecido por águas cinzas i (s); $FDAC_i$ = frequência estimada para o dispositivo abastecido por águas cinzas i (usos/dia); PA = preço da água (R$/l); PE = preço do esgoto (R$/l). Substituindo cada um dos dispositivos, surge a expressão a seguir:

CF_{01} = Pop x {[(VS x TS x FS) + (VTL x TTL x FTL) + (VTC x FTC) + (VTT x TTT x FTT) + (CML x FML)] - [(VSE x TSE x FSE) + (VTLE x TTLE x FTLE) + (VTCE x FTCE) + (VTTE x TTTE x FTTE) + (CML x FML)] + [(CBS x FBS)]} x (PA + PE)

onde: VS = vazão estimada do chuveiro (l/s); TS = tempo estimado por uso do chuveiro (s/ uso); FS = frequência estimada para chuveiro (usos/dia); VTL = vazão estimada para torneira de lavatório (l/s); TTL = tempo estimado por uso para torneira de lavatório (s/uso); FTL = frequência estimada para torneira de lavatório (usos/dia); VTC = vazão

estimada para torneira de cozinha (l/s); FTC = frequência estimada para torneira de cozinha (s/dia); VTT = vazão estimada para torneira de tanque (l/s); TTT = tempo estimado por uso para torneira de tanque (s/uso); FTT = frequência estimada para torneira de tanque (usos/dia); CML = consumo estimado da máquina de lavar roupas (l/ciclo); FML = frequência estimada para a máquina de lavar (ciclos/dia); VSE = vazão estimada do chuveiro economizador (l/s); TSE = tempo estimado por uso do chuveiro economizador (s/ uso); FSE = frequência estimada para chuveiro economizador (usos/dia); VTLE = vazão estimada para torneira de lavatório economizadora (l/s); TTLE = tempo estimado por uso para torneira de lavatório economizadora (s/uso); FTLE = frequência estimada para torneira de lavatório economizadora (usos/dia); VTCE = vazão estimada para torneira de cozinha economizadora (l/s); FTCE = frequência estimada para torneira de cozinha economizadora (s/dia); VTTE = vazão estimada para torneira de tanque economizadora (l/s); TTTE = tempo estimado por uso para torneira de tanque economizadora (s/uso); FTTE = frequência estimada para torneira de tanque economizadora (usos/dia).

Preenchendo os valores, surge a seguinte expressão:

$$CF_{01} = 4 \times \{[(0.19 \times 300 \times 1) + (0.167 \times 15 \times 12) + (0.23 \times 240) \times (0.23 \times 25.52 \times 3.33) + (108 \times 0.2)] - [(0.20 \times 300 \times 1) + (0.07 \times 8.9 \times 12) + (0.13 \times 240) + (0.1 \times 25.52 \times 3.33) + (108 \times 0.2)] + [(6.8 \times 5)]\} \times (0.003 + 0.004) =$$

$$= 4 \times [(57 + 30.06 + 55.2 + 19.55 + 21.6) - (60 + 7.476 + 31.2 + 8.498 + 21.6) + (34)] \times 0.007 =$$

$$= 4 \times (183.406 - 128.774 + 34) \times 0.007 =$$

$$= 2.48 \text{ R\$}$$

O projeto considera a existência de quintal. Portanto, há consumo externo. Esse consumo (com rega de jardim, mangueira de jardim e lavagem de carros) é obrigatoriamente abastecido por água não potável. O fluxo de caixa correspondente a esse consumo é dado por:

$$CF_{02} = [(CRJ \times FRJ \times AJ) + (NC \times CLC \times FLC \times PLC) + (CMJ \times FMJ)] \times (PA + PE)$$

onde: CF_{02} = custo associado com o consumo externo (R$); CRJ = consume com rega

de jardim (l/m²); FRJ = frequência de regas de jardim (vezes/dia); AJ = área de jardim (m²); NC = número de carros; CLC = consume com lavagem de carros (l/lavagem); FLC = frequência de lavagem (lavagens/dia/carro); PLC = probabilidade de lavagem dos carros na residência (%); CMJ = consumo com mangueira de jardim (l/dia de uso); FMJ = frequência de uso da mangueira de jardim (usos/dia). Substituindo os valores numéricos, a seguinte expressão surge:

CF_{02} *= [(2 x 0.262 x 100.00) + (2 x 150 x 0.033 x 0.4) + (50 x 0.131)] x (0.003 + 0.004) = (52.459 + 3.934 + 6.557) x 0.007 = 0.44 R$*

O reuso de águas cinzas foi considerado como uma medida economizadora, portanto o custo de operação e manutenção deve ser considerado. Esse custo é dividido em: custo de energia elétrica, custo de mão de obra, custo dos produtos químicos, custo da disposição do lodo e custo da depreciação (omitido, e interpretado como o prazo limite para o período de retorno). Se algum deles foi considerado nulo, as variáveis correspondentes são todas iguais a zero. Colocando numa equação, surge a seguinte expressão:

COM = [CEE] + [CL] + [CTL] + [CPQ] + [CDL] = [ECT x PE] + [FTL x CTLh] + [PTL x FTL] + [Σ(QPQ x PPQ))] + [(VLG x CDLu) + (FR x CR)]

onde: COM = custo com operação e manutenção (R$); CEE = custo com energia elétrica (R$); CL = custo laboral (R$); CTL = custo com testes laboratoriais (R$); CPQ = custo com produtos químicos (R$); CDL = custo com disposição de lodo (R$); CET = consumo de energia com tratamento (kWh/day); PE = preço da energia (R$/kWh); FTL = frequência de trabalhos laborais (h/dia); CTLh = custo dos trabalhos laborais (R$/h); PTL = custo dos testes laboratoriais (R$/teste); FTL = frequência dos testes laboratoriais (testes/dia); QPQ = quantidade do produto químico (unidade/dia); PPQ = preço do produto químico (R$/unidade); VLG = volume de lodo gerado (kg/dia); CDLu = custo com a disposição do lodo (R$/kg); FR = frequência das retiradas (retiradas/dia); CR = custo por retirada (R$/retirada).

Substituindo os valores reais, surge a seguinte expressão:

OMC = [2.17 x 0.79] + [0 x 0] + [0 x 0] + [(0.131 x 5.00)] + [(1.803 x 0.055) + (0.006 x 300.00)] = (1.71) + (0) + (0) + (0.656) + (0.1 + 1.67) = 4.14 R$

O custo com bombeamento da água pluvial também precisa ser considerado. Ele é dado pela seguinte expressão:

CBAP = CEBAP x PE

onde: CBAP = custo da bomba de água pluvial (R$); CEBAP = consumo de energia da bomba de água pluvial (kWh/dia). Substituindo os valores reais, a expressão se torna:

CBAP = 0.482 x 0.79 = 0.38 R$

O fluxo de caixa por dia será dado pela soma, com seus respectivos sinais, de todos esses custos, corrigidos para as unidades habitacionais (caso NUH > 1). O fluxo de caixa por mês será o produto desse fluxo de caixa inicial e o número de dias considerados num mês (30,5). Assim, a seguinte expressão surge:

FC_0 = [ERCI + ERCE/NUH - COMTAC/NUH - CBAP/NHU] x 30.5

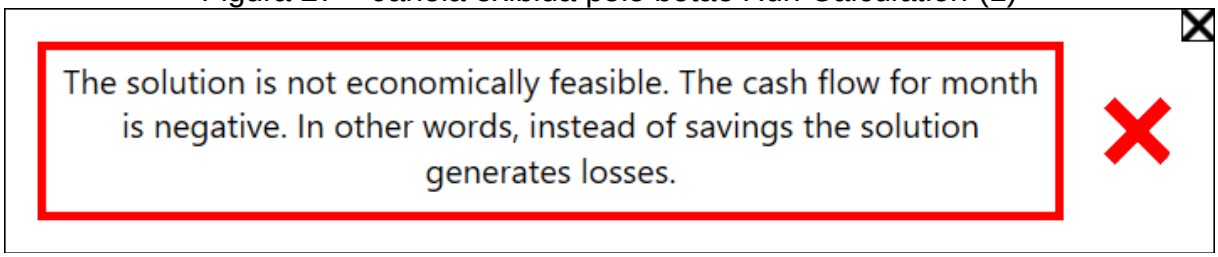
onde: FC_0 = fluxo de caixa no mês 0 (R$); ERCI = economia com a redução do consumo interno (R$); ERCE = economia com a redução do consumo externo (R$); COMTAC = custo com operação e manutenção do sistema de tratamento de águas cinzas (R$); CBAP = custo com bombeamento da água pluvial (R$). Substituindo os valores reais, a seguinte expressão surge:

FC_0 = [2.48 + 0.44 - 4.14/1 - 0.38/1] x 30.5 = [2.48 + 0.44 - 4.14 - 0.38] x 30.5 = -1.6 x 30.5 = -48.8 R$

Já que o fluxo de caixa para t = 0 é negativo, e todos os valores na equação do fluxo de caixa são corrigidos pela taxa de inflação, os fluxos de caixa permanecerão constantes, e o investimento nunca será pago. Assim, a solução não é economicamente viável."

Ao clicar em *Run Calculation*, o resultado é apresentado numa janela sem bordas. No exemplo, a janela com o resultado, exibida ao clique do botão, é a mostrada na Figura 27:

Figura 27 – Janela exibida pelo botão *Run Calculation* (1)

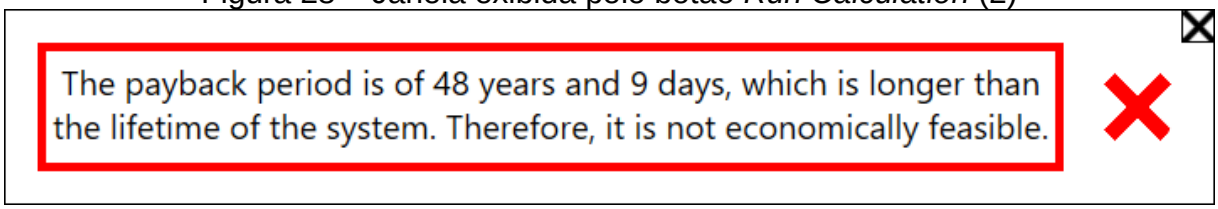


Fonte: do autor

O texto da janela é gerado a partir do parágrafo final do memorial de cálculo. Os ajustes no texto são feitos automaticamente. Para ilustrar como os outros dois casos possíveis são apresentados, serão feitas duas simulações:

1. Na primeira, será considerado que o sistema projetado atende a duas unidades habitacionais. O resultado será um fluxo de caixa positivo, mas um período de retorno superior à vida útil do sistema (Figura 28).

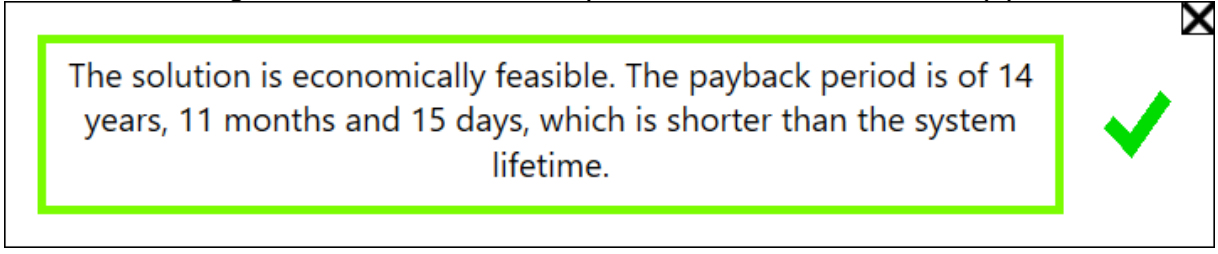
Figura 28 – Janela exibida pelo botão *Run Calculation* (2)



Fonte: do autor

2. Na segunda, será considerado que o sistema atende a três unidades habitacionais. O resultado será um fluxo de caixa positivo, e um período de retorno inferior à vida útil do sistema (Figura 29).

Figura 29 – Janela exibida pelo botão *Run Calculation* (3)



Fonte: do autor

5 CONCLUSÕES

6 CONCLUSÕES

O trabalho detalhou o desenvolvimento do *plug-in*, e exemplificou sua aplicação numa residência. No exemplo, a solução proposta não se mostrou viável. Isso porque o fluxo de caixa por período (dado pelo produto do consumo pelo custo da água) é diretamente proporcional à população da edificação (no caso do consumo interno). Esse fato explica por que pequenas edificações não foi o foco para aplicação do *plug-in*.

Apesar do foco estar em edificações maiores, o memorial de cálculo gerado pelo *plug-in* permite a análise dos impactos de cada um dos fatores nos fluxos de caixa gerados ao longo do tempo. Ou seja, por menor que seja o porte da edificação, pode-se verificar o período de retorno do investimento apenas com o uso dispositivos economizadores, ou apenas com o aproveitamento de águas pluviais para uso externo, sem a necessidade de bombeamento, ou outras combinações de soluções.

O memorial de cálculo do exemplo, reproduzido no capítulo anterior, deixa claro que o maior entrave para o reuso de águas cinzas em edificações de menor porte são os custos de manutenção e operação do sistema de tratamento. Parte desses custos são intrínsecos ao tipo de sistema utilizado; outros são exigidos por norma. As configurações que definem o custo com operação e manutenção ficam a cargo do usuário, mas devem ser coerentes com a realidade.

É possível também analisar como as características da edificação influenciam a viabilidade. O fato de todas essas configurações poderem ser alteradas a qualquer momento, e todos os resultados serem atualizados automaticamente, auxilia na avaliação de cenários, ou seja, no estudo de viabilidade. Como os tipos de dispositivos economizadores também podem ser facilmente alterados, a avaliação dos tipos de dispositivos mais indicados também fica facilitada.

Procedimentos para o cálculo do consumo externo foram retirados da literatura, mas como os dados que o definem são de difícil determinação podem ser alterados pelo projetista, ou restaurados a qualquer momento. Isso permite simular cenários mais fiéis às especificidades de cada projeto. Por exemplo, a probabilidade de que os carros

sejam lavados na residência (com valor inicial de 40%) pode ser adotada como 0% (no caso de uma edificação de alto padrão que se saiba não contará com profissional encarregado de lavagem de carros), ou 100%, no caso de uma residência de alto padrão que conte com estrutura para lavagem de carros, por exemplo.

O fato do *plug-in* ser uma ferramenta complementar ao Revit®, fazendo uso de suas características, elementos, parâmetros etc., agrega ao plug-in as mesmas vantagens de utilização do Revit® (relativas à plataforma BIM). O fato do memorial de cálculo poder ser exportado como documento do Microsoft® Word, ao invés de PDF, facilita sua utilização em relatórios ou outros documentos.

A facilidade de carregamento de tabelas com composições de custos, atribuição e alteração de códigos, a facilidade do uso em conjunto com o Microsoft® Excel, facilita a simulação de cenários no tocante a custos. Pode-se, por exemplo, trocar o dispositivo tipo de dispositivo economizador para torneiras apenas alterando o custo na tabela cujo nome foi passado aos elementos como tabela fonte. É claro que essa mudança precisa ser feita também nas configurações.

O resultado pretendido inicialmente foi alcançado. Este trabalho mostrou como é vasto o campo do desenvolvimento de aplicações computacionais, em conjunto com a infinidade de informações existentes nos projetos em BIM, para criar soluções para problemas de engenharia. O interesse da Autodesk® nesse desenvolvimento, explicado no decorrer do trabalho, se mostra fundamental para que esse caminho seja utilizado. Certamente, sem o auxílio disponibilizado por ela seria extremamente difícil desenvolver qualquer coisa nesse campo.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Frente aos resultados obtidos, ficam como sugestões para trabalhos futuros:

- Criar uma solução para a determinação da viabilidade econômica de soluções que faça o dimensionamento dos reservatórios de águas pluviais e águas cinzas, sem a necessidade de recorrer a *softwares* externos.
- Adicionar à solução o dimensionamento das instalações de água, esgoto,

pluviais, dimensionamento de bombas etc.

- Adicionar à solução outros tipos de edificação (escola, shopping, hospital, hotéis etc.).
- No caso de edificações residenciais, permitir a análise de edificações com diferentes configurações (e populações) de unidades habitacionais.
- Considerar no modelo a água de condensação dos aparelhos de ar-condicionado.
- Permitir a correção dos custos da água e energia por taxas diferentes da taxa de inflação.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

AGOSTINI, Rodolfo dos Santos de. **AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E DA VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE REÚSO DE ÁGUA CINZA EM UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL DE ALTO PADRÃO**. 2009. 69 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental, Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais**. Rio de Janeiro. 13 p. 1989.

_____. **NBR 13713: Instalações hidráulicas prediais — Aparelhos automáticos acionados mecanicamente e com ciclo de fechamento automático — Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro. 27 p. 2009

_____. **NBR 15097-1: Aparelhos sanitários de material cerâmico – Parte 1**: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro. 8 p. 2011.

_____. **NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro. 8 p. 2007.

AGUIAR, K. C. **Comparação dos Potenciais de Conservação de Água com a Prática do Reúso De Águas Cinza e com a Coleta Segregada da Urina Humana em uma Edificação Residencial Multifamiliar**. 2011. 132 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2011.

AMORIM, Simar Vieira de; PEREIRA, Daniel José de Andrade. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p.53-66, jun. 2008.

AMOS, Caleb Christian; RAHMAN, Ataur; GATHENYA, John Mwangi. Economic Analysis and Feasibility of Rainwater Harvesting Systems in Urban and Peri-Urban Environments: A Review of the Global Situation with a Special Focus on Australia and

Kenya. **Water**, [s.l.], v. 8, n. 4, p.149-169, 14 abr. 2016. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/w8040149.

ANA; FIESP; SINDUSCON-SP. **Conservação e Reuso da Água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005. 151 p.

AUTODESK. AUTODESK KNOWLEDGE NETWORK: PRODUTOS REVIT. 2018. Disponível em: <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/PTB/Revit-API/files/GUID-600856C0-DE79-4C70-8F27-431AFC6B1DA2-htm.html>. Acesso em: 28 dez. 2018.

BARRETO, D.; MEDEIROS, O. Caracterização da vazão e frequência de uso de aparelhos sanitários. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 4, p. 137-149, Antac, 2008.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p.23-40, jun. 2008.

BAZZARELLA, B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações**. Vitória, 2005. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

BERHANU, Bruk M. et al. Feasibility of Water Efficiency and Reuse Technologies as Demand-Side Strategies for Urban Water Management. **Journal Of Industrial Ecology**, [s.l.], v. 21, n. 2, p.320-331, 21 jun. 2016. Wiley-Blackwell. http://dx.doi.org/10.1111/jiec.12430.

BEZERRA, Stella Maris da Cruz et al. Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527. **Ambiente Construído,** [s.l.], v. 10, n. 4, p.219-231, dez. 2010. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212010000400015.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água**: documentos técnicos de apoio – caracterização e monitoramento do

consumo predial de água. Brasília: Ministério das Cidades, 1998, 38 p.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2010**. Brasília: Ministério das Cidades, 2012. 400 p. Disponível em: https://midia.atp.usp.br/plc/plc0502/impressos/plc0502_extra_MinCidades_DiagnosticoSaneamento_AE2010.pdf. Acesso em: 27 set. 2017.

_____. Ministério das Cidades. **Texto de Referência do Programa Setorial da Qualidade de Louças Sanitárias para Sistemas Prediais**. 2015. Disponível em: <http://pbqp-h.cidades.gov.br/download.php?doc=c1c77b21-eb89-41f6-ad9f-378fe7cf4b7e&ext=.pdf&cd=3721>. Acesso em: 27 set. 2017.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL:** MANUAL DE METODOLOGIAS E CONCEITOS. 5. ed. [S.l.]: Caixa, 2015. 130 p. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf>. Acesso em: 02 out. 2017. DIsponível em: <http://aprece.org.br/wp-content/uploads/2015/11/SINAPI_Manual_de_Metodologias_e_Conceitos_v005.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2019

CELITE. **Catálogo geral 2015**. São Paulo, SP, 2015, 100 p. Disponível em: <https://www.celite.com.br/downloads/catalogo_geral_2015.pdf>. Acesso em: 28 set. 2017.

CESAN – COMPANHIA ESPÍRITO SANTENSE DE SANEAMENTO. Bairros da Grande Vitória com rodízio no abastecimento. 2014. Disponível em: <https://www.cesan.com.br/sociedade/saiba-mais/bairros-da-grande-vitoria-com-rodizio-no-abastecimento/>. Acesso em: 15 abr. 2017.

COELHO, Adalberto Cavalcanti; MAYNARD, João Carlos de Britto. Experiência de Medição Individualizada de Apartamentos em Edifícios Antigos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. Anais... . Rio de Janeiro: CBESA, 1999. p. 1157 - 1170.

CREDER, Hélio. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006. xv, 423 p. ISBN 9788521614890 (broch.)

DECA. **Economizadores – Catálogo 2017**. São Paulo, SP, 2017, 95 p. Disponível em: <http://static.deca.com.br/sites/default/files/deca_economizadores_0.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

DIAS, David Montero; MARTINEZ, Carlos Barreira; LIBÂNIO, Marcelo. **Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 15, n. 2, p.155-166, jun. 2010. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522010000200008.

DREHER, V; P; L. **Possíveis Soluções para o Uso Racional da Água na Edificação Da Câmara Municipal de Porto Alegre**. Trabalho de Conclusão de curso. (Graduação em Engenharia Civil) Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

DOCOL. **Curso técnico de produtos Docol**. Joinvile, SC, 2018, 97 p. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/100011794/Apostila-Tecnica-de-Produtos-Docol>. Acesso em: 28 set. 2017.

_____. **Manual da Docol:** Docolmatic. S. l., 201?, 70 p. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/cls/catalogos/docol/Catalogo_DocolMatic.pdf>. Acesso em: 28 set. 2017.

DUELL, Ryan; HATHORN, Tobias; HATHORN, Tessa. **Autodesk Revit Architecture 2015 - Essentials**. Indianápolis, Ind.: Wiley, 2014. 358 p. ISBN 9781118870952 (broch.)

ESTADOS UNIDOS. ***Energy policy act* de 24 out 1992**. Lei que visa o aperfeiçoamento da eficiência energética. *Public Law 102-486, 106 Stat. 2776. Washington, DC, 24 out. 1992.*

FIORI, S. **Avaliação qualitativa e quantitativa do potencial de reuso de água cinza em edifícios residenciais multifamiliares**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005002E

FRANCI, Thiago Keller. **Avaliação da viabilidade econômica de um sistema de reuso de água cinza em uma edificação residencial multifamiliar de alto padrão**. 2011. 88 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

FRIEDLER, E.; HADARI, M. Economic feasibility of on-site greywater reuse in multi-storey buildings. **Desalination**, [s.l.], v. 190, n. 1-3, p.221-234, abr. 2006. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.007.

GAMEIRO, Antonio Gil Fernandes. **Avaliação de métodos de determinação de consumo de água potável e de dimensionamento de hidrômetro: Estudo de Caso em Londrina / PR.** 2007. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

GASPAR, João; LORENZO, Natália Turri. **Revit passo a passo**: volume I. São Paulo: Probooks, 2015. 400 p.

GONÇALVES, Ricardo Franci (Coord.). **Uso racional da água em edificações. Rio de Janeiro**: ABES, 2006. 352 p. ISBN: 978-85-7022-154-4.

GONÇALVES, Paulo Marcio. **Bases metodológicas para a racionalização do uso de água e energia no abastecimento público de água em São Paulo**. 1995. 330 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CRACIUN, Gecielma Pinto. **Conservação e uso Racional de Água nos Sistemas prediais**: Efetividade do Programa de Nacional de Combate ao Disperdício de Água. 2007. 99 f. Monografia (Especialista) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

HAMZO, Samir Tanios. **Avaliação da economia de água obtida pelo uso de dispositivo seletivo de descarga em bacias sanitárias com caixa acoplada**. 2005. 79 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Habitação: Planejamento e Tecnologia, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2005

HERNÁNDEZ, F. et al. Feasibility studies for water reuse projects: an economical approach. **Desalination**, [s.l.], v. 187, n. 1-3, p.253-261, fev. 2006. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2005.04.084.

HESPANHOL, Ivanildo. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Industria, Municípios, Recarga de Aqüíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 7, n. 4, p.75-95, 2002. Associacao Brasileira de Recursos Hidricos - ABRH. http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v7n4.p75-95.

ILHA, M. S.; GONÇALVES, O. M.; OLIVEIRA JUNIOR, O. B. de. Avaliação do desempenho de bacias sanitárias de volume de descarga reduzido quanto à remoção e transporte de sólidos. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 2, n. 4, p. 47-61, 2002.

ILHA, M. S.; OLIVEIRA, L. H.; GONÇALVES, O. M. Sistemas de medição individualizada de água: como determinar as vazões de projeto para a especificação dos hidrômetros?. **Engenharia Sanitaria e Ambienta**l, [s.l.], v. 15, n. 2, p.177-186, jun. 2010.

INSTITUTO TRATA BRASIL (Brasil). Situação Saneamento no Brasil. 2013. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>. Acesso em: 27 set. 2017.

JEFFERSON, B et al. Technologies for domestic wastewater recycling. **Urban Water**, [s.l.], v. 1, n. 4, p.285-292, dez. 2000. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s1462-0758(00)00030-3.

JUAN, Yi-kai; CHEN, Yi; LIN, Jing-ming. Greywater Reuse System Design and Economic Analysis for Residential Buildings in Taiwan. **Water**, [s.l.], v. 8, n. 11, p.546-

556, 19 nov. 2016. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/w8110546.

LEITE, Ana Maria Ferreira. **Reúso de água na gestão integrada de recursos hídricos**. 2003. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Planejamento e Gestão Ambiental, Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2003.

LOMBARDI, L. R. **Dispositivos poupadores de água em um sistema predial: análise da viabilidade técnico-econômica de implementação no instituto de pesquisas hidráulicas**. 2012. 75f. Trabalho de diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

LOPES, A. P. G.; SILVA JÚNIOR, D. P.; MIRANDA, D. A.. Análise Crítica de Métodos para Dimensionamento de Reservatórios de Água Pluvial: Estudo Comparativo dos Municípios de Belo Horizonte (MG), Recife (PE) e Rio Branco (AC). **Revista Petra**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.219-238, 30 dez. 2015. Instituto Metodista Izabela Hendrix. http://dx.doi.org/10.15601/2359-5302/ptr.v1n2p219-238.

MANCUSO, Pedro Caetano Sanches. (Coord.); SANTOS, Hilton Felício dos. (Ed.). **Reuso de água**. Barueri, SP: Manole, 2003. xvii, 579 p. ISBN 8520414508 (enc.).

MARCH, J; GUAL, M; SIMONET, B. Determination of residual chlorine in greywater using o-tolidine. **Talanta**, [s.l.], v. 58, n. 5, p.995-1001, 12 nov. 2002. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0039-9140(02)00453-8.

MARINOSKI, A. K. **Aproveitamento de Água Pluvial para Fins não Potáveis em Instituição de Ensino**: Estudo de Caso em Florianópolis – SC. 2007. 107 f. Monografia (Graduação) – Engenharia Civil, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MATOS, C. et al. Economic Analysis of a Rainwater Harvesting System in a Commercial Building. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 29, n. 11, p.3971-3986, 6 jun. 2015. Springer Nature. http://dx.doi.org/10.1007/s11269-015-1040-9.

MAYOK, Simone. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2009. 200 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MORALES-PINZÓN, Tito et al. Financial and environmental modelling of water hardness — Implications for utilising harvested rainwater in washing machines. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 470-471, p.1257-1271, fev. 2014. Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.101

MORUZZI, Rodrigo Braga; OLIVEIRA, Samuel Conceicao de; CARVALHO, Gabriela. Volume do reservatório de aproveitamento de agua pluvial baseado no conceito do balanço de vazões para uma residência unifamiliar. **Publicatio Uepg - Ciências Exatas e da Terra Agrarias e Engenharias**, [s.l.], v. 14, n. 3, p.217-227, 21 dez. 2008. Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). http://dx.doi.org/10.5212/publi.exatas.v.3i2.217227.

MOTTA, S. R. F.; ALVES, A. H. V.; SOUZA, R. V. G. **Proposta para Classificação da Eficiência do Uso da Água nas Edificações Residenciais**. In: NUTAU 2008, 2008, São Paulo. Anais do NUTAU 2008. São Paulo: FAU-USP, 2008. v. 1. p. 1-9.
MUTIKANGA, Harrison E.; SHARMA, S. K.; VAIRAVAMOORTHY, K.. Assessment of apparent losses in urban water systems. **Water And Environment Journal**. [S.l.], v. 25, n, 3, p. 327-335, set. 2011.

NAIK, Kartiki S.; STENSTROM, Michael K.. A Feasibility Analysis Methodology for Decentralized Wastewater Systems - Energy-Efficiency and Cost. Water Environment Research, [s.l.], v. 88, n. 3, p.201-209, 1 mar. 2016. **Water Environment Federation**. http://dx.doi.org/10.2175/106143016x14504669767337.

NOLDE, E.. Erratum to “Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin” [Urban Water 1 (1999) 275–284]. **Urban Water**, [s.l.], v. 2, n. 3, p.275-284, set. 2000. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s1462-0758(01)00002-4.

NSW HEALTH – DEPARTAMENTO DE SAÚDE DA NOVA GALES DO SUL. **Greywater Reuse in Sewered Single Domestic Premises**. Sydney: NSW Health, 2000. 19 p. Disponível em: <http://www.health.nsw.gov.au/environment/domesticwastewater/Documents/greywater-reuse-policy.pdf>. Acesso em: 28 set. 2017.

OLIVEIRA, Lucia Helena de; ILHA, Marina S. de Oliveira; GONÇALVES, Orestes M.; YWASHIMA, Laís; REIS, Ricardo Prado Abreu. **Levantamento do estado da arte**: água. São Paulo: FINEP, 2007. 107 p.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Technical Report Series. Reuse of effluents: Methods of wastewater treatment and health safeguards. In: WHO Meeting of Experts, 1973, Geneva. **Anais**… Geneva: Organização Mundial da Saúde, 1973. 64 p.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE; UNICEF - FUNDO INTERNACIONAL DE EMERGÊNCIA PARA A INFâNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS. **Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report**. Geneva: Organização Mundial da Saúde, 2000. 80 p. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp2000.pdf>. Acesso em: 02 out. 2017.

OVIEDO-OCAÑA, Edgar Ricardo et al. Financial feasibility of end-user designed rainwater harvesting and greywater reuse systems for high water use households. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], p.1-17, 30 mar. 2017. http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-8710-5

RAMPELOTTO, Geraldo. **Caracterização e tratamento de águas cinzas visando reuso doméstico**. 2014. 117 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água**: DTA - Documento Técnico de Apoio nº E1. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1998. 38 p. Disponível em: <http://www.pmss.gov.br/downloads/biblioteca/pncda/dta/dta_e1_1999.zip>. Acesso em: 02 out. 2017.

RODRIGUES, L. C. S. **Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória-ES**. 2005. 100 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

RUPP, Ricardo Formagiarini; MUNARIM, Ulisses; GHISI, Enedir. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. Ambiente Construído, [s.l.], v. 11, n. 4, p.47-64, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212011000400005.

SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Entenda o que é esgoto e o caminho que ele percorre até as estações de tratamento da Sabesp. 2016. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalhe.aspx?secaoId=65&id=7081>. Acesso em: 01 out. 2017.

_____. **O uso racional da água no comércio**. São Paulo: FECOMERCIO, 2010. 56 p.

_____. **Relatório de Sustentabilidade 2014**. São Paulo: Sabesp, 2015. 246 p. Relatório. Disponível em: <http://site.sabesp.com.br/uploads/file/sociedade_meioamb/rs_2014.pdf>. Acesso em: 27 set. 2017.

SANEAR: A REVISTA DO SANEAMENTO BÁSICO. Brasília: Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento, n. 26, mar. 2015. Mensal.

SÃO PAULO. Secretaria da Fazenda. **Melhores Práticas para o Uso Racional da Água: Coletânea de práticas de otimização de recursos/redução de desperdícios na Prestação de Serviços Terceirizados – Programa de Melhoria dos Gastos Públicos**. São Paulo: Cadterc, 2015, 18 p. Disponível em: <http://arquivos.ambiente.sp.gov.br/cadmin/2012/10/cadterc.pdf>. Acesso em: 02 out. 2017.

SILVA, Gisele Sanches da; TAMAKI, Humberto Oyamada; LOUREIRO, R. S.;

GONÇALVES, Orestes Marraccini. Eliminação de vazamentos em redes externas no contexto de programas de uso racional da água. Estudo de Caso: Universidade de São Paulo. **Ambiente Construído** (São Paulo. Impresso), v. 8, p. 41-52, 2008.

SURENDRAN, S.; WHEATLEY, A. D.. Grey-Water Reclamation for Non-Potable Re-Use. **Water And Environment Journal**, [s.l.], v. 12, n. 6, p.406-413, dez. 1998. Wiley-Blackwell. http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-6593.1998.tb00209.x.

TAKAOKA. **Manual de conservação de água:** programa de conservação de águas. Manual do proprietário do empreendimento Gênesis. Santana do Parnaíba: Projeto Gênesis, SP, 2002, 50p.

THACKRAY, Je; COCKER, V; ARCHIBALD, G. THE MALVERN AND MANSFIELD STUDIES OF DOMESTIC WATER USAGE. **Proceedings Of The Institution Of Civil Engineers**, [s.l.], v. 64, n. 1, p.37-61, fev. 1978. Thomas Telford Ltd.. http://dx.doi.org/10.1680/iicep.1978.2741.

THE HOME DEPOT. 3P Technik: Grey Rainus Rain Water Filter for Downspout. Disponível em: <http://www.homedepot.com/p/3P-Technik-Grey-Rainus-Rain-Water-Filter-for-Downspout-1000500/203645266>. Acesso em: 01 set. 2017.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2003. 180 p. (Tecnologia) ISBN 858767823X (broch.)

_____. **Economia de água para empresas e residências**: um estudo atualizado sobre medidas convencionais e não convencionais do uso racional da água. São Paulo: Navegar, 2001. 112 p. ISBN 8587678094 (broch.)

_____. **Previsão de consumo de água:** interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos. São Paulo: Navegar, 2000. 250 p. ISBN 8587678027 (broch.)

TUTORIALSTEACHER. C# Class. 2018. Disponível em: <http://www.tutorialsteacher.com/csharp/csharp-class>. Acesso em: 28 dez. 2018.

URKIAGA, A. et al. Development of analysis tools for social, economic and ecological effects of water reuse. **Desalination**, [s.l.], v. 218, n. 1-3, p.81-91, jan. 2008. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2006.08.023.

URSINO, N.; GRISI, A.. Reliability and efficiency of rainwater harvesting systems under different climatic and operational scenarios. **International Journal Of Sustainable Development And Planning**, [s.l.], v. 12, n. 01, p.194-199, 1 jan. 2017. WITPRESS LTD.. http://dx.doi.org/10.2495/sdp-v12-n1-194-199.

VANDEZANDE, James; KRYGIEL, Eddy; READ, Phil. **Mastering Revit Architecture 2014**. Indianapólis, Ind.: Wiley, 2013. 1008 p. ISBN 9781118521304 (broch.)

YAMADA, E.S.; Prado, R.T.A.; Ioshimoto, E. **Os impactos da medição individualizada do consumo de água** (submedição). Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo – SP.13 p. 2001.

YU, Zita L.t et al. Performance and Economic Evaluation of a Semibatch Vertical-Flow Wetland for Onsite Residential Bathroom Graywater Treatment. **Journal - American Water Works Association**, [s.l.], v. 108, p. E392-E404, 1 jul. 2016. American Water Works Association. http://dx.doi.org/10.5942/jawwa.2016.108.0079.

ANEXOS

ANEXO A – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 1

1: ESTADOS UNIDOS. ***Energy policy act*** **de 24 out 1992**. Lei que visa o aperfeiçoamento da eficiência energética. *Public Law 102-486, 106 Stat. 2776. Washington, DC, 24 out. 1992.*

Tabela 5 – Consumo máximo de água por peça sanitária nos EUA a partir de 1994

Peça sanitária	**Consumo máximo**
Bacias sanitárias	1,6 gpf = 6,05 l/descaga
Toneiras	2,5 gpm = 9,46 l/min
Descargas em mictórios	1 gpm = 3,78 l/descarga
Chuveiros	2,5 gpm = 9,46 l/min

Fonte: adaptado de Estados Unidos (1992)

ANEXO B – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 2

2: GONÇALVES, Paulo Marcio. **Bases metodológicas para a racionalização do uso de água e energia no abastecimento público de água em São Paulo.** 1995. 330 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

Tabela 6 – Padrões de eficiência federais para o uso da água em equipamentos hidráulicos estabelecidos pelo US Energy Policy Act 1992

Produto	Consumo máximo	Data de vigência
Bacias sanitárias(1)		
Caixa de descarga	6,0 l/descarga	a partir de 01/01/1994
Caixa fluxométrica	6,0 l/descarga	a partir de 01/01/1995
Caixa de descarga comercial(2)	13,3 l/descarga	de 01/01/1994 a 31/12/1996
Caixa de descarga comercial(2)	6,0 l/descarga	a partir de 01/01/1997
Válvula fluxométrica	6,0 l/descarga	a partir de 01/01/1994
Mictórios(2)	3,8 l/descarga	a partir de 01/01/1994
Chuveiros(2)	0,16 l/s (5,4 atm)	a partir de 01/01/1994
Torneiras(3)		
Lavatório	0,16 l/s (5,4 atm)	a partir de 01/01/1994
Cozinha	0,16 l/s (5,4 atm)	a partir de 01/01/1994

Nota: (1) Em concordância com ASME-ANSI A112.19.2M-1990 a A112.19.6-1990; (2) Deve contar com uma etiqueta que especifica "Apenas para uso comercial"; (3) Em concordância com ASME-ANSI A112.18.1M-1990

Fonte: adaptado de US Energy Policy Act of 1992 (1992, p. 52-53, apud GONÇALVES, 1995, p. 52)

Tabela 7 – Comparação das características de equipamentos convencionais e eficientes

	Vasão convencional	Vazão eficiente	Redução (%)	Consumo (%)
Bacia sanitária	12,0[1]	6,0[1][2]	50	50
Chuveiro	0,12[3][10]	0,08[6][10]	33	67
Lavatório	0,2[5][10]	0,05[7][10]	33	67
Lavar roupa	170[5][9]	70,7[8][9]	58	42
Pia/louça	0,2[4][10]	0,05[7][10]	33	67

Nota: (1) Volume em litros por descarga. (2) Bacia sanitária com caixa acoplada CELITE. (3) Vazão de mistura de chuveiros. (4) Segundo a NBR 5626, de 1982. (5) Máquina de lavar roupas BRASTEMP. (6) Chuveiro de alta pressão DOCOL (0,1 bar). (7) Torneira de alta pressão DOCOL (0,1-0,5 bar). (8) Máquina de lavar roupa IPSO eixo horizontal 18,7 galões. (9) Volume em litros por ciclo. (10) Vazão em litros por segundo.

Fonte: adptado de Gonçalves (1995, p. 116)

Tabela 8 – Comparação do consumo de água para lavagem de roupas e louças: com lavadora e manualmente

Atividade	Consumo com lavadora (l/semana)	Consumo manual (l/semana)	Redução do consumo com a lavagem manual (%)
Lavagem de roupas	575	95	80,67
Lavagem de louça	276	180	34,78

Fonte: Gonçalves (1995, p. 104)

ANEXO C – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 3

3: BRASIL. Ministério das Cidades. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água**: documentos técnicos de apoio – caracterização e monitoramento do consumo predial de água. Brasília: Ministério das Cidades, 1998, 38 p.

Tabela 9 – Parâmetros sobre o consumo de água em aparelhos sanitários (medição no prédio 24 do IPT)

Aparelho sanitário	Duração de uso (s)	Intervalo entre usos (min)	Volume médio (l)	Vazão média (l/s)
Bacia sanitária com válvula de descarga	5,9	21,9	7,19	1,57
Bacia sanitária com caixa acoplada	186,97	21,7	8,85	0,06
Torneira de lavatório	11,1	18,16	1,02	0,06
Torneira de pia da cozinha	6,12	2,7	1,07	0,12
Torneira de tanque	25,52	6,34	5,40	0,19
Torneira de serviço	4,17	6,29	0,57	0,07

Fonte: BRASIL (1998, p. 21)

Tabela 10 – Parâmetros sobre o consumo de água em aparelhos sanitários (quatro campanhas de medição)

Aparelho sanitário	Duração de uso (s)	Intervalo entre usos (min)	Volume médio (l)	Vazão média (l/s)
Bacia sanitária com válvula de descarga	6,15	35,66	7,90	1,24
Bacia sanitária com caixa acoplada	78,32	56,77	5,87	0,06
Torneira comum de lavatório	20,4	23,17	1,38	0,08
Torneira de acionamento hidromecânico	8,86	9,24	0,72	0,07
Torneira de acionamento fotoelétrico	3,93	10,63	0,42	0,05

Fonte: BRASIL (1998, p. 21)

Tabela 11 – Perfil do consumo doméstico de água

Ponto de utilização de água	Consumo diário por habitação (l/habitação)	Consumo diário per capita em percentual (%)
Bacia sanitária	24	5
Chuveiro	238	55
Lavadora de roupas	48	11
Lavatório	36	8
Pia	80	18
Tanque	11	3
Consumo total	437	100

Fonte: BRASIL (1998, p. 37)

ANEXO D – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 4

4: TOMAZ, Plínio. **Previsão de consumo de água**: interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos. São Paulo: Navegar, 2000. 250 p. ISBN 8587678027 (broch.)

Tabela 12 – Componentes do consumo de água na Holanda em 1992

Componentes da demanda	**Consumo (litros/uso)**	**Frequência (usos/dia)**	**Consumo per capita (litros/dia/pessoa)**
Banheira	120,0	0,17	8
Chuveiro	63,5	0,63	39,5
Lavagem de mão	4,0	0,97	3,7
Bacia sanitária	7,2	5,94	42,7
Máquina de lavar roupas	100,0	0,25	23,2
Lavagem de roupas com as mãos	40,0	0,06	2,4
Máquina de lavar pratos	25,0	0,22	0,7
Lavagem de pratos com as mãos	11,2	0,78	8,8
Preparação de comida			2,6
Outros			3,3
Total			134,9

Fonte: Achttienribbe (1993, apud TOMAZ, 2000, p. 36)

Tabela 13 – Estimativas da demanda residencial em água potável, uso externo

Uso externo	**Unidade**	**Faixa**	
Casas com piscina (Brasil)	%	(*)	0,1
Gramado ou jardim	litros/dia/m^2	(*)	2
Lavagem de carros	litros/lavagem/carro	(*)	150
Lavagem de carros: frequência	lavagem/mês	1	2
Mangueira de jardim - ½" x 20 mm	litros/dia	(*)	50
Manutenção de piscina	litros/dia/m^2	(*)	3
Perdas por evaporação em piscina	litros/dia/m^2	2,5	5,75
Reenchimento em piscinas	5 anos	1	2
Tamanho da casa	m^2	30	450
Tamanho do lote	m^2	125	750

(*) Não há dados disponíveis

Fonte: Dziegielewski et al. (1993, apud TOMAZ, 2000, p. 35)

Tabela 14 – Estimativas da demanda residencial de água potável, uso interno

Uso interno	Unidades	Faixa	
Dados nos Estados Unidos			
Número de pessoas em casa	m^3/pessoa/mês	2	3
Descarga na bacia	descargas/pessoa/dia	4	6
Volume da descarga	l/descarga	6,048	30,24
Vazamento nos banheiros	%	0	30
Frequência de banho	banho/pessoa/dia	0	1
Duração do banho	min	5	15
Vazão dos chuveiros	l/s	0,0945	0,315
Uso da banheira	banhos/pessoa/dia	0	0,2
Volume de água	l/banho	113,4	189
Máquina de lavar roupa	carga/pessoa/dia	0,2	0,3
Volume de água	l/ciclo	170,1	189
Torneira da cozinha	min/pessoa/dia	0,5	3
Vazão da torneira	l/s	0,126	0,189
Dados no Brasil			
Vazão do chuveiro elétrico	l/s	(*)	0,08
Torneira de banheiro	l/s	(*)	0,1
Torneira de cozinha	l/s	(*)	0,1
Descarga da bacia	l/s [sic][1]	6	12
Lavadora de pratos	l/s [sic][2]	18	70

(*) Não há dados disponíveis

Fonte: Dziegielewski et al. (1993, apud TOMAZ, 2000, p. 35)

Quadro 6 – Valores típicos dos dispositivos residenciais na Dinamarca

Equipamento sanitário/atividade	Faixa de vazão
Torneira residencial	10 a 20 l/min
Lavagem de mãos	4 a 8 l/uso
Chuveiro - uso	90 a 110 l/uso
Chuveiro - vazão	19 a 40 l/min
Banheira	60 a 190 l/uso
Bebedouro de vazão constante	4 a 5 l/min
Irrigação com sprinkler	6 a 8 l/min
Disposição de lixo	4 a 8 l/pessoa/dia
Máquina de lavar roupas	100 a 200 l/carga
Vazamento em torneiras	10 a 1000 l/dia
Descarga em bacia sanitária	19 a 27 l/uso
Vazão da descarga da bacia sanitária com válvula	90 a 110 l/s
Descarga em bacia sanitária com caixa	19 a 27 l/uso

Fonte: Quasim; Syed R. (1994, apud TOMAZ, 2000, p. 38)

ANEXO E – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 5

5: TOMAZ, Plínio. **Economia de água para empresas e residências**: um estudo atualizado sobre medidas convencionais e não convencionais do uso racional da água. São Paulo: Navegar, 2001. 112 p. ISBN 8587678094 (broch.)

Tabela 15 – Medidas convencionais de conservação da água e porcentagens aproximadas de economia

Medidas convencionais de conservação de água	**Porcentagem aproximada de economia prevista**
Consertos de vazamentos nas redes públicas	32%
Mudanças nas tarifas	26%
Leis sobre aparelhos sanitários	19%
Consertos de vazamentos nas casas	8%
Reciclagem e reúso da água	7%
Educação pública	5%
Redução de pressão nas redes públicas	3%
Total	100%

Fonte: *Water Conservation and demand management strategies for Providence Water Supply Board* (1993, apud Tomaz, 2001, p. 38)

Tabela 16 – Dados relativos a máquina de lavar pratos

Frequência	1,0 carga/pessoa/dia
Volume	13 a 18 l/ciclo

Fonte: adaptado de Dziegielewski (2000, apud TOMAZ, 2001, p. 56)

Tabela 17 – Dados relativos a máquina de lavar roupa

Frequência	0,37 carga/pessoa/dia
Volume	100 a 153 l/ciclo

Fonte: adaptado de Dziegielewski (2000, apud TOMAZ, 2001, p. 56)

Tabela 18 – Consumo interno de uma casa com e sem conservação em cidades dos Estados Unidos

Uso da água	**Sem conservação**		**Com conservação**	
	Porcentagem	**l/dia/hab.**	**Porcentagem**	**l/dia/hab.**
Bacia sanitária	27,70%	78	19,30%	38
Lavagem de roupas	20,90%	59	21,40%	42
Chuveiros	17,30%	47	20,10%	39
Torneiras	15,30%	43	21,90%	43
Vazamentos	13,80%	39	10,10%	19
Outros consumos domésticos	2,10%	6	3,10%	6
Banheira	1,60%	4	2,40%	5
Lavagem de pratos	1,30%	4	2,00%	4
Total interno	100	280	100%	196

Fonte: American Water Works Association Research (apud TOMAZ, 2001, p. 58)

ANEXO F – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 6

6: TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva**: para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar, 2003. 180 p. (Tecnologia) ISBN 858767823X (broch.)

Tabela 19 – Parâmetros de engenharia para estimativas de demanda residencial de água

Uso interno	**Unidades**	**Parâmetros**		
		Inferior	**Superior**	**Mais provável**
Gasto mensal	m^3/pessoa/mês	3	5	5
Número de pessoas na casa	pessoa	2	5	3
Descarga na bacia	descargas/pessoa/dia	4	6	5
Volume de descarga	litros/descarga	6,8	18	9
Vazamento em bacias sanitárias	percentagem	0	30	9
Frequência de banho	banhos/pessoa/dia	0	1	1
Duração do banho	minutos	5	15	7,3
Vazão dos chuveiros	litros/segundo	0,08	0,3	0,15
Uso da banheira	banhos/pessoa/dia	0	0,2	0,1
Volume de água	litros/banho	113	189	113
Máquina de lavar pratos	cargas/pessoa/dia	0,1	0,3	0,1
Volume de água	litros/ciclo	18	70	18
Máquina de lavar roupa	cargas/pessoa/dia	0,2	0,37	0,37
Volume de água	litros/ciclo	108	189	108
Torneira da cozinha	minutos/pessoa/dia	0,5	4	4
Vazão da torneira	litros/segundo	0,126	0,189	0,15
Torneira de banheiro	minutos/pessoa/dia	0,5	4	4
Vazão da torneira	litros/segundo	0,126	0,189	0,15

Fonte: Tomaz (2003, p. 51)

Tabela 20 – Estimativa de consumo de mangueiras de jardim

Diâmetro da mangueira	**Volume em litros de acordo com o tempo de escoamento de uma mangueira de 15 m de comprimento e pressão de 28 mca**			
	15 min	**30 min**	**15 min**	**60 min**
1/2	284	568	8520	1134
5/8	363	726	1089	1452
3/4	199	998	1497	1996

Fonte: Vickers (2001, apud TOMAZ, 2003, p. 52)

Tabela 21 – Parâmetros de engenharia para estimativas de demanda residencial de

água potável para uso externo

Uso externo	Unidades	Valores
Casas com piscina	porcentagem	0,1
Gramado ou jardim	litros/dia/m^2	2
Lavagem de carros	litros/lavagem/carro	150
Lavagem de carros: frequência	lavagem/mês	4
Mangueira de jardim 1/2" x 20 m	litros/dia/m^2	50
Manutenção de piscina	litros/dia/m^2	3
Perdas por evaporação em piscina	litros/dia/m2	5,75
Reenchimento de piscina	anos	10
Tamanho da casa	m^2	30 a 450
Tamanho do lote	m^3	125 a 750

Fonte: Tomaz (2003, p. 52)

Tabela 22 – Estimativa semanal de água para irrigação de jardins

Quantidade de água irrigada por semana		Volume semanal de irrigação para jardins (de acordo com a área)					
Polegadas	**Centímetros**	**50 m^2**	**100 m^2**	**200 m^2**	**300 m^2**	**400 m^2**	**500 m^2**
1/2	1,27	590	1179	2358	3537	4716	5895
1	2,54	1179	2358	4716	7074	9432	11790
2	5,08	2358	4716	9432	14148	18864	23580
3	7,62	3538	7076	14152	21228	28304	35380
4	10,16	4716	9432	18864	28296	37728	47160

Fonte: Vickers (2001, apud TOMAZ, 2003, p. 55)

ANEXO G – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 7

7: TAKAOKA. **Manual de conservação de água:** programa de conservação de águas. Manual do proprietário do empreendimento Gênesis. Santana do Parnaíba: Projeto Gênesis, SP, 2002, 50p.

Tabela 23 – Comparação das características dos equipamentos economizadores de água com os convencionais

Torneira (lavatório)	**Convencional**		**Com arejador**	**Hidromecânica**	**Sensor**
Vazão (l/min)	12		6	6	6
Tempo (min/ pessoa/dia)	8		8	4	2
Uso diário (l/pessoa)	96		48	24	12
Chuveiro	**Ducha**		**Com redutor de vazão**		
			14 litros/min	**8 litros/min**	
Vazão (l/min)	20		14	8	
Tempo (min/ pessoa/dia)	10		10	10	
Uso diário (l/pessoa)	200		140	80	
Torneira (pia da cozinha/área de serviço)	**Convencional**		**Com arejador**		
Vazão (l/min)	12		6		
Tempo (min/ pessoa/dia)	2		2		
Uso diário (l/pessoa)	24		12		
Bacia sanitária	**Convencional**		**6L**	**"Dual flush"**	
	9 l/desc.	**12 l/desc.**			
Vazão (l/descarga)	9	12	6	6 ou 3	
Acionamentos (pessoa/dia)	4	4	4	4 (1 x "6L" + 3 x "3L")	
Uso diário (l/pessoa)	36	48	24	15	
Máquina de lavar roupas	**Tradicional**		**Eficiente**		
Consumo (l/lavagem)	115		90		

Fonte: Takaoka (2002, p. 19-22)

ANEXO H – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 8

8: GONÇALVES, Ricardo Franci (Coord.). **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 352 p. ISBN: 978-85-7022-154-4.

Tabela 24 – Estimativa de consumo per capita diário com base no uso racional da água

Atividade	**Frequência (vezes/dia)**	**Consumo (l/dia)**
Lavar roupas	2/7 = 0,2857	16,7
Escovar os dentes	2	1,0
Tomar banho com chuveiro elétrico	2	30,0
Lavar as mãos	2	1,0
Lavar louça	2	40,0
Acionar descarga	3	30,0
Total		120

Fonte: adaptado de Contrato SABESP/USP Projeto de pesquisa Sabesp, programa de economia de água de consumo doméstico/Uso Racional da Água (apud GONÇALVES, 2006, p. 16)

Tabela 25 – Demanda residencial não potável

Demanda interna	**Faixa**	**Unidade**
Vaso sanitário - Volume	6 - 15	l/desc.
Vaso sanitário - Frequência	4 - 6	desc./hab./dia
Máquina de lavar roupas - Volume	100 - 200	l/ciclo
Máquina de lavar roupas - Frequência	0,2 - 0,3	cargas/hab./dia
Demanda extrerna	**Faixa**	**Unidade**
Rega de jardim - Volume	2	l/dia/m^2
Rega de jardim - Frequência	8 - 12	regas/mês
Lavagem de carro - Volume	80 - 150	l/carro
Lavagem de carro - Frequência	1 - 4	carros/mês

Fonte: Tomaz (2000, apud GONÇALVES, 2006, p. 114)

Quadro 7 – Dados para cálculo das demandas não potáveis

Vaso sanitário	6 l/descarga
	5 descargas/dia
	perdas por vazamento de 10%
Lavagem da área impermeabilizada	4,0 l/dia/m^2
	8 utilizações/mês

Fonte: Gonçalves (2006, p. 126)

Tabela 26 – Simulação de distribuição do consumo de uma família brasileira de 4 pessoas

Vasos sanitários	Lavatório	Chuveiro	Pia da cozinha	Tanque	Máquina de lavar roupa
4 pessoas 3 descargas/dia 12 l/descarga	4 pessoas 3 min/dia 10 l/min	4 pessoas 10 min/dia 12 l/min	4 pessoas 5 min/dia 10 l/min	4 pessoas 5 min/dia 10 l/min	4 pessoas 3 cicl./semana 210 l/
14%	12%	47%	14%	5%	8%

Fonte: Gonçalves; Bazarella (2005, apud GONÇALVES, 2006, p. 167)

Quadro 8 – Estimativa de produção de água cinza

Aparelho	Dados para o cálculo	Cálculo
Lavatório	Vazão (q) = 20 l/min Duração (t) = 4 min/hab./dia Frequência (f) = 1,0 vez/dia	$Q_{LV} = q \times t \times f$ $Q_{LV} = 20 \times 4 \times 1$ $Q_{LV} = 80$ l/dia/hab.
Chuveiro	Vazão (q) = 20 l/min Duração (t) = 10 min/hab./dia Frequência (f) = 1,5 vez/dia	$Q_{LV} = q \times t \times f$ $Q_{LV} = 20 \times 10 \times 1,5$ $Q_{LV} = 300$ l/dia/hab.
Tanque	Vazão (q) = 20 l/min Duração (t) = 5 min/apart./dia Frequência (f) = 1 vez/dia	$Q_{LV} = q \times t \times f$ $Q_{LV} = 20 \times 5 \times 1$ $Q_{LV} = 100$ l/dia/apart.
Máquina de lavar	Vazão (q) = 1085 l/ciclo Frequência (f) = 1 ciclo/dia	$Q_{LV} = q \times f$ $Q_{LV} = 108 \times 1$ $Q_{LV} = 108$ l/dia/apart.

Fonte: adaptado de Gonçalves (2006, p. 171)

Tabela 27 – Diferentes tipos de vasos sanitários quanto ao tipo de descarga utilizado

Tipo de vaso sanitário	Volume por descarga (l/descarga)	Descarga longa (l/descarga)(2)	Descarga curta (l/descarga)(3)	Volume total (l/pessoa/dia)(4)
Volume de descarga muito pequeno	0,6 a 1,0	2	0,2	3 a 6
Descarga a vácuo	0,8 a 1,0	-	-	-
Com separador de urina	-	4 a 6	0,2	5 a 7
Volume de descarga pequeno convencional, com dois botões(1)	-	4	2	14
Volume de descarga convencional	6 a 12	-	-	36 a 72

(1) um botão para descarga longa e um para descarga curta; (2) volume de água utilizado só para fezes; (3) volume de água utilizado só para urina; (4) volume de água calculado assumindo que uma pessoa utiliza o vaso sanitário uma vez para fezes e 5 vezes para urina num período de um dia

Fonte: adaptado de Kujawa-Roeleveld; Zeeman (2006, apud GONÇALVES, 2006, p. 229)

Tabela 28 – Volume e vazão de regime de aparelhos de descarga

Parâmetros considerados	Tipo de bacia	Aparelho de descarga usado	Valores normatizados
Volume util	Convencional	Caixa	6,8 ± 0,3 l
		Caixa/Válvula	
Vazão de regime	Convencional	Caixa de alta energia/Válvula	1,40 ± 0,15 l/s
		Caixa de baixa energia	0,9 ± 0,20 l/s
Vazão de reposição do fecho hídrico	Convencional	Caixa	≤ 0,025 l/s
Volume de reposição do fecho hídrico	Convencional	Caixa	650 ± 50 ml

Fonte: Gonçalves (2006, p. 280)

Tabela 29 – Valores comparativos do consumo de água no chuveiro

Tipo de aparelho	Vazão* de água (l/min)	Observações sobre o valor da vazão	Consumo de água (l)
Chuveiro elétrico (aquecimento de passagem)	3	Valor real	24
Chuveiro convencional (aquecimento de acumulação)	24	Valor teórico	192
Chuveiro convencional conforme projeto de Norma 02:136.01.008 - Parte 6	9	Valor desejável	72
Chuveiro convencional (aquecimento de acumulação) com redutor de 8	8	Valor real	64
Chuveiro convencional (aquecimento de acumulação) com redutor de 14	14	Valor real	112

* a vazão é baseada em pressão e demais condições de normas técnicas aplicáveis a cada tipo de chuveiro

Fonte: Gonçalves (2006, p. 291)

Tabela 30 – Valores medidos em condição real de uso no prédio 24 do IPT

Tipo de aparelho	Vazão de funcionamento (l/s)	Tempo de uso (s)	Volume consumido por uso (l)
Torneira de lavatório	0,06	11	1,02
Torneira de pia	0,12	6	1,07
Torneira de tanque	0,19	24	5,40
Torneira de jardim	0,07	4	0,57

Fonte: Gonçalves (2006, p. 293)

Tabela 31 – Vazão no arejador segundo proposta de norma em discussão na ABNT

Tipo de arejador	Faixa de pressão estática (kPa)	Pressão dinâmica de ensaio (kPa)	Vazão mínima de funcionamento (l/s)
Baixa pressão	20 - 200	15	0,05
Alta pressão	200 - 400	75	0,10*
*nessas condições de uso, estima-se que o volume de ar incorporado ao fluxo de água no arejador deve ser de aproximadamente 0,02 l/s			

Fonte: Gonçalves (2006, p. 295)

Tabela 32 – Parâmetros estabelecidos na NBR 13.713/96 – Aparelhos hidráulicos acionados manualmente e com ciclo de fechamento automático

Tipo de aparelho	Vazão mínima de funcionamento (l/s)	Tempo máximo de fechamento (s)	Valor teórico de consumo por uso (l)
Torneira de lavatório	0,05	15	0,75
Válvula de mictório	0,05	10	0,5
Registro de chuveiro	0,10	55	5,5

Fonte: ABNT (1996, apud GONÇALVES, 2006, p. 296)

Tabela 33 – Parâmetros Estabelecidos na NBR 13.713/96 em revisão

Tipo de aparelho	Vazão mínima de funcionamento (l/s)	Tempo máximo de fechamento (s)	Valor teórico de consumo por uso (l)
Torneira de lavatório	de 0,04 a 0,10	de 5 a 10	de 0,20 a 1,0
Válvula de mictório	de 0,07 a 0,12	de 5 a 10	de 0,35 a 1,2
Registro de chuveiro	de 0,10 a 0,15	de 20 a 50	de 2,0 a 7,5

Fonte: ABNT (1996, apud GONÇALVES, 2006, p. 296)

Tabela 34 – Torneira de acionamento hidromecânico – Valores medidos em condição real de uso

Tipo de aparelho	Vazão de funcio-namento (l/s)	Tempo de uso (s)	Volume de água consumida por uso (l)
Torneira de lavatório	0,07	8,9	0,72

Fonte: ABNT (1996, apud GONÇALVES, 2006, p. 297)

Tabela 35 – Torneira de acionamento foto elétrico; valores medidos em condição real de uso

Tipo de aparelho	Vazão de funcio-namento (l/s)	Tempo de uso (s)	Volume de água consumida por uso (l)
Torneira de lavatório	0,05	3,9	0,42

Fonte: ABNT (1996, apud GONÇALVES, 2006, p. 299)

Tabela 36 – Valores de consumo de água e volume por uso em mictórios cuja limpeza foi realizada por válvulas de descarga

Tipo de mictório	Frequência diária de uso	Consumo total (l)	Volume médio por uso (l/uso)
Válvula de descarga normal (Ø 1 ½)	60	42	0,7
Válvula de descarga específica (Ø ¾)	43	20	0,47

Fonte: Gonçalves (2006, p. 301)

Tabela 37 - Perfil do consumo doméstico medido em um apartamento popular na cidade de São Paulo

Pontos de utilização de água	Consumo diário por habitação (l/habitação/dia)	Percentual do uso no consumo diário (%)
Chuveiro	238	55
Pia da cozinha	80	18
Lavadora de roupas	48	11
Lavatório	36	8
Bacia sanitária	24	5
Tanque	11	3
Total	437	100

Fonte: adaptado de Rocha et al. (1998, apud GONÇALVES, 2006, p. 309)

Quadro 9 – Vazões e volumes referenciais de pontos de utilização de água em uma instalação residencial

<table>
<tr><th rowspan="2">Pontos de utilização de água</th><th rowspan="2">Características técnicas de contorno exigíveis ou mais usuais</th><th colspan="2">Vazões ou volumes referenciais</th></tr>
<tr><th>Aparelho convencional</th><th>Aparelho economizador</th></tr>
<tr><td>Chuveiro elétrico</td><td>São usuais pressões dicâmicas entre 1,0 mca e 2,5 mca em residências térreas e assobradas com reervatório superior. No caso de pressões maiores, em edifícios de apartamentos por exemplo, deve ser usado dispositivo que imponha perda de carga na entrada do chuveiro. A pressão hidrostática máxima prevista na NBR 5626 (40 mca) é considerada excessiva e poderá elevar o valor da vazão.</td><td colspan="2">0,05 l/s (3 l/min) a 0,10 l/s (6l/min)</td></tr>
<tr><td>Ducha (aquecimento central)</td><td>A ducha economizadora é dotada de dispositivo limitador de vazão com anel flexível</td><td>0,15 l/s (9 l/min)</td><td>0,075 l/s (4,5 l/min)</td></tr>
<tr><td>Bacia sanitária</td><td>As bacias sanitárias fabricadas atualmente atendem à NBR 15097/04 e consomem 6,8 l por descarga, sendo, portanto, economizadoras. O aparelho convencional se refere a uma bacia sanitária fabricada segundo critérios anteriores aos da referida norma em vigor.</td><td>9 l/descarga a 15 l/descarga</td><td>6,8 l/descarga</td></tr>
<tr><td>Torneira de lavatório</td><td rowspan="2">Valores médios obtidos em medições sobre uso real e em medições laboratoriais. A torneira convencional não tem arejador enquanto a economizadora é dotada do dispositivo.</td><td>0,05 l/s (3 l/min)</td><td>0,025 l/s (1,5 l/min)</td></tr>
<tr><td>Torneira de pia de cozinha</td><td>0,10 l/s (6 l/min)</td><td>0,05 l/s (3 l/min)</td></tr>
<tr><td>Torneira de tanque</td><td rowspan="2">Torneira sob pressão direta da rede pública ou sob pressão elevada da instalação predial. Estima-se que a pressão hidrostática na entrada da rede seja da ordem de 40 mca, nesses casos.</td><td>0,2 l/s (12 l/min)</td><td>0,1 l/s (6 l/min)* (aplicação de válvula redutora de pressão ou engate estrangulador)</td></tr>
<tr><td>Torneira de jardim</td><td>0,2 l/s (12 l/min)</td><td>0,1 l/s (6 l/min)* (aplicação de válvula redutora de pressão ou engate estrangulador)</td></tr>
<tr><td colspan="4">*torneira de tanque ou de jardim sob pressão elevada tendem a apresentar valores bastante altos de vazão. Não existem medições sistemáticas sobre esses casos, mas estima-se que o uso de redutores de pressão pode reduzir a vazão para cerca de 0,1 l/s (6 l/min). O uso de mangueiras na torneira de jardim e estranguladores no bico da torneira do tanque também impõem perda de carga significativa. A propósito, o uso de gatilhos que interrompem o escoamento no esguicho da mangueira é importante para evitar o desperdício.</td></tr>
</table>

Fonte: IPT (apud GONÇALVES, 2006, p. 310)

Tabela 38 – Cálculo da redução de consumo por substituição de aparelhos sanitários em apartamentos existentes

Pontos de utilização de água	**Número de aparelhos**	**Perfil de consumo**	**Consumo com uso de aparelho convencional**	**Economia com a substituição do aparelho convencional por economizador**	**Consumo com uso de aparelho economizador**
		(%)	(m^3/mês)	(%)	(m3/mês)
Chuveiro elétrico	1	55	7,205	0*	7,205
Torneira de pia de cozinha	1	18	2,358	50,0	1,179
Lavadora de roupas	1	11	1,441	0**	1,441
Torneira de lavatório	1	8	1,048	50,0	0,524
Bacia sanitária	1	5	0,655	56,7***	0,371
Torneira de tanque	1	3	0,393	50,0****	0,196
Total			13,1		10,916
Redução percentual no consumo			16,7		

*admite-se que o chuveiro elétrico seja usado dentro da faixa de vazões consideradas satisfatórias, apresentadas na Tabela 28;
**não existem estudos que sistematizem tais valores relativos a lavadoras elétricas de roupa. Admite-se no exercício que não haverá diferença entre as situações;
***foi considerado que a bacia sanitária antiga consumia 12 litros por descarga;
****no caso de um apartamento situado no 1º andar de um edifício de 4 andares tem-se uma pressão hidrostática não muito alta na torneira do tanque (cerca de 15 mca). Será considerada uma redução de 50% devido à instalação de um dispositivo de perda de carga na entrada da torneira.

Fonte: Gonçalves (2006, p. 312)

ANEXO I – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 9

9: MARINOSKI, A. K. **Aproveitamento de Água Pluvial para Fins não Potáveis em Instituição de Ensino**: Estudo de Caso em Florianópolis – SC. 2007. 107 f. Monografia (Graduação) – Engenharia Civil, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

Tabela 39 – Perda de água por vazamentos em vazos sanitários

Número de furos de lavagem	Correspondente de vazamento (l/min)	Perda mensal (l/mês)
1 – 3	0,1	4.320
3 – 6	0,3	12.960
Mais furos	0,5	21.600

Fonte: Deca (2007, apud MARINOSKI, 2007, p. 9)

Tabela 40 – Vazão de aparelhos sanitários

Aparelho sanitário	Vazão (l/s)
Torneira de lavatório	0,09
Torneira de tanque	0,15
Torneira de pia	0,17
Chuveiro	0,02
Bebedouro elétrico	0,01
Vaso sanitário (válvula de descarga)	1,70
Mictório (válvula de descarga)	0,15
Mangueira	0,12

Fonte: adaptado de Marinoski (2007, p. 55)

Tabela 41 – Frequência, tempo e consumo médio de água per capita para aparelhos de uso individual no SENAI de Florianópolis

Aparelho	Frequência (vezes/dia)		Tempo (s/utilização)		Consumo (l/dia/pessoa)	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Torneira de lavatório	3,17	3,00	10,24	6,10	2,91	2,69
Bebedouro	1,55	1,88	4,71	5,23	0,19	0,27
Vaso sanitário	1,25	1,36	5,09	4,72	16,92	19,42
Mictório	1,89	1,27	7,38	5,48	2,23	1,94
Tanque	0,36	1,00	16,67	89,42	1,69	4,66

Fonte: adaptado de Marinoski (2007, p. 58)

ANEXO J – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 10

10: CRACIUN, Gecielma Pinto. **Conservação e uso Racional de Água nos Sistemas prediais**: Efetividade do Programa de Nacional de Combate ao Disperdício de Água. 2007. 99 f. Monografia (Especialista) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

Tabela 42 – Economia de água com a adoção de medidas economizadoras

Local	Ações realizadas	Redução mensal	Retorno do invest.
Lar Batista das Crianças	- Detecção e conserto de vazamentos visíveis e não visíveis na rede externa, reservatórios e instalações hidráulicas e prediais. - Troca parcial de equipamentos convencionais por outros economizadores de água. - Campanha educacional.	21%	10 meses
Secretaria de Meio Ambiente/ CETESB	- Detecção e conserto de vazamentos visíveis e não visíveis na rede externa, reservatórios e instalações hidráulicas e prediais. - Troca de equipamentos convencionais por outros economizadores de água. - Campanha educacional.	47%	2 meses
Universid. de São Paulo/USP - Fase III	- Detecção e conserto de vazamentos visíveis e não visíveis na rede externa, reservatórios e instalações hidráulicas e prediais. - Troca de equipamentos convencionais por outros economizadores de água. - Campanha educacional. - Estudo para reaproveitamento de água dos destiladores.	37%	8 meses
Fundação de Desenv. Admin. - FUNDAP	- Detecção e conserto de vazamentos visíveis e não visíveis na rede externa, reservatórios e instalações prediais. - Troca de equipamentos convencionais por outros economizadores de água.	29,4%	10 meses
Escola Estadual Fernão Dias Paes	- Detecção e conserto de vazamentos visíveis e não visíveis na rede externa. - Reservatórios e instalações prediais. - Troca de equipamentos convencionais por outros economizadores de água. - Campanha educacional.	94%	5 dias
Cozinha Ford - Ipatinga	- Detecção e conserto de vazamentos. - Instalação de equipamentos economizadores (1 torneira de acionamento com pé, 5 arejadores, 2 chuveirinhos dispersantes). - Campanha educacional.	52%	19 dias
Palácio dos Bandei-rantes	-Detecção e conserto de vazamentos visíveis e não visíveis na rede externa, reservatórios e instalações prediais. - Troca parcial de equipamentos hidráulicos convencionais por economizadores. - Campanha educacional e ambiental. - Sistema de gerenciamento de consumo de água setorizado M-Bus.	31%	11 meses

Fonte: SABESP (2007, apud GRACIUN, 2007, p. 45)

ANEXO K – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 11

11: GAMEIRO, Antonio Gil Fernandes. **Avaliação de métodos de determinação de consumo de água potável e de dimensionamento de hidrômetro: Estudo de Caso em Londrina / PR.** 2007. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

Tabela 43 – Consumo doméstico de água

Uso	**Consumo de água (l/hab/dia)**
Bebida	2
Preparo de alimentos	6
Lavagem de utensílios	2 a 9
Higiene pessoal	15 a 35
Lavagem de roupas	10 a 15
Bacia sanitária	9 a 10
Perdas	6 a 13
Total	50 a 90

Fonte: Rocha; Barreto (1999, apud GAMEIRO, 2007, p. 31)

ANEXO L – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 12

12: MOTTA, S. R. F.; ALVES, A. H. V.; SOUZA, R. V. G. **Proposta para Classificação da Eficiência do Uso da Água nas Edificações Residenciais**. In: NUTAU 2008, 2008, São Paulo. Anais do NUTAU 2008. São Paulo: FAU-USP, 2008. v. 1. p. 1-9.

Tabela 44 – Dados de economia dos equipamentos hidráulicos

Equipamento	**Uso por dia per capita**	**Consumo padrão**	**Consumo do equipamento**	**Economia sobre consumo referência (200 l/dia/pessoa)**
Torneira com arejador	6 minutos	12 litros/min	6 litros/min	18%
Chuveiro com redutor de vazão	7 minutos	15 litros/min	12 litros/min	10,5%
Descarga "dual flush"	4 acionamentos	24 litros	15 litros	4,5%

Fonte: MOTTA; ALVES; SOUZA (2008, p.7)

Tabela 45 – Consumo de equipamentos hidráulicos

Produto	**Vazão (l/min)**		
	Baixa pressão (2 a 10 mca)	**Alta pressão (10 a 40 mca)**	**Aplicando dispositivos economizadores de água**
Torneira de lavatório	10	20	8
Misturador de cozinha	12	20	8
Torneira de jardim/tanque	12	20	8
Mictório com registro	10	15	8
Mictório Decalux	8	8	8
Mictório Decamatic	8	15	8
Torneira Decalux	6	6	6
Torneira Decamatic	8	15	6
Chuveiro	15	20	14

Fonte: Deca (apud MOTTA; ALVES; SOUZA, 2008, p. 4)

ANEXO M – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 13

13: DREHER, V; P; L. **Possíveis Soluções para o Uso Racional da Água na Edificação Da Câmara Municipal de Porto Alegre**. Trabalho de Conclusão de curso. (Graduação em Engenharia Civil) Escola de Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

Tabela 46 – Exemplo de aplicação do pura em diversas instituições

Programa	Principais ações	Redução do consumo	Retorno do investimento
PURA - Escola Estadual Fernão Dias Paes, em São Paulo	Correção de vazamentos	94,0%	3 dias
	Substituição de equipamentos	9,0%	15 meses
	Total	95,0%	4 dias
PURA - Instituto do Coração	Correção de vazamentos	28,4%	27 dias
	Substituição de equipamentos	15,3%	86 dias
	Total	39,3%	48 dias
PURA – Universidade de São Paulo	Diversas fases, entre: - medições setorizadas; - campanhas educativas; - correção de vazamentos; - substituição de equipamentos	24,0%	-
PURA - Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo	Correção de vazamentos	-	-
	Substituição de equipamentos	-	-
	Total	32%	26 dias
Shopping center de São Paulo	Substituição de bacias sanitárias (6 LPF)	20%	3 meses

Fonte: Dreher (2008, p. 33)

Tabela 47 – Redução de consumos em torneiras utilizando equipamentos economizadores

Equipamento economizador	Vazão (l/s)	Redução do consumo (%)
Torneira com arejador	0,05	50
Torneira com pulverizador	0,03	70
Torneira de fechamento automático	0,07	75
Torneira de acionamento fotoelétrico	0,05	70

Fonte: Dreher (2008, p. 42)

Tabela 48 – Redução de consumo em torneiras utilizando equipamentos economizadores

Equipamento economizador	Vazão (l/s)	Redução do consumo (%)
Torneira com arejador	0,05	50
Torneira com pulverizador	0,03	70
Torneira de fechamento automático	0,07	75
Torneira de acionamento fotoelétrico	0,05	70

Fonte: Dreher (2008, p. 42)

ANEXO N – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 14

14: BARRETO, D.; MEDEIROS, O. Caracterização da vazão e frequência de uso de aparelhos sanitários. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 4, p. 137-149, Antac, 2008.

Tabela 49 – Vazões médias, típicas e frequência de uso dos aparelhos sanitários

Aparelho	**Vazão média (l/s)**	**Desvio padrão (l/s)**	**Vazão típica (l/s)**	**Frequência diária de uso (vezes/dia/pessoa)**
Chuveiro	0,0683	0,0283	0,0800 - 0,1000	2
Torneira de cozinha	0,0200	0,0150	até 0,0100	26,6667
Torneira de lavatório	0,0233	0,0167	até 0,0100	8,3333
Caixa acoplada	0,0633	0,0083	0,0600 - 0,0700	2,6667
Máquina de lavar	0,0200	0,0350	0,0800 - 1,1000	3,3333
Tanquinho	0,0550	0,0483	não definida	2,3333
Máquina de lavar e tanque	0,0617	0,0467	não definida	4
Tanque	0,0383	0,0333	não definida	3,3333

Nota: (1) Os dados foram obtidos das médias dos valores encontrados nas residências estudadas. (2) Os autores relatam que os valores altos podem ser devidos à presença de vazamentos. Como o percentual de perdas devido a vazamentos é incerto, esses dados devem ser utilizados com ressalvas. Em razão disso, foram considerados apenas os dados compreendidos no intervalo “MÉDIA ± 2*DESVIO PADRÃO”.

Fonte: adaptado de Barreto; Medeiros (2008, p. 148)

ANEXO O – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 15

15: ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13713: Instalações hidráulicas prediais — Aparelhos automáticos acionados mecanicamente e com ciclo de fechamento automático — Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro. 27 p. 2009

Tabela 50 – Temporização do ciclo de funcionamento, vazão mínima e volume máximo de água por ciclo

Tipo de aparelho automático acionado mecanicamente	**Tempos de ciclo (s)**		**Vazão (l/s)**	**Volume máximo de água por ciclo (l)**
	Mínimo	**Máximo**	**Mínima**	
Válvulas para mictório	4	10	0,07	1,5
Válvulas para chuveiro	18	50	0,10	12,5
Aparelhos automáticos para lavatório	4	10	0,04	1,2
Para aplicações/condições especiais	De acordo com as necessidades específicas			

Fonte: ABNT (2009, p. 10)

ANEXO P – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 16

16: SABESP – COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **O uso racional da água no comércio**. São Paulo: FECOMERCIO, 2010. 56 p.

Tabela 51 – Comparação entre produtos convencionais e produtos economizadores de água

Equipamento convencional	**Consumo**	**Equipamento economizador**	**Consumo**	**Economia**
Bacia com caixa acoplada	12 litros/descarga	Bacia VDR	6 litros/ descarga	50%
Bacia com válvula bem regulada	10 litros/descarga	Bacia VDR	6 litros/ descarga	40%
Ducha (água quente/ fria) - até 6 mca	0,19 litros/seg	Restritor de vazão 8 litros/min	0,13 litros/seg	32%
Ducha (água quente/ fria) - 15 a 20 mca	0,34 litros/seg	Restritor de vazão 8 litros/min	0,13 litros/seg	62%
Ducha (água quente/ fria) - 15 a 20 mca	0,34 litros/seg	Restritor de vazão 12 litros/min	0,20 litros/seg	41%
Torneira de pia - até 6 mca	0,23 litros/seg	Arejador de vazão cte (6 litros/min)	0,10 litros/seg	57%
Torneira de pia - 15 a 20 mca	0,42 litros/seg	Arejador de vazão cte (6 litros/min)	0,10 litros/seg	76%
Torneira de uso geral/tanque – até 6 mca	0,26 litros/seg	Regulador de vazão	0,13 litros/seg	50%
Torneira de uso geral/ tanque - 15 a 20 mca	0,42 litros/seg	Regulador de vazão	0,21 litros/seg	50%
Torneira de uso geral/ tanque - até 6 mca	0,26 litros/seg	Restritor de vazão	0,10 litros/seg	62%
Torneira de uso geral/ tanque - 15 a 20 mca	0,42 litros/seg	Restritor de vazão	0,10 litros/seg	76%
Torneira de jardim - 40 a 50 mca	0,66 litros/seg	Regulador de vazão	0,33 litros/seg	50%
Mictório	2 litros/uso	Válvula automática	1 litro/uso	50%

Fonte: Sabesp, USP (1996, apud SABESP, 2010, p. 20-21)

ANEXO Q – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 17

17: ILHA, Marina S. de Oliveira; OLIVEIRA, Lúcia Helena de; GONÇALVES, Orestes M. Sistemas de medição individualizada de água: como determinar as vazões de projeto para a especificação dos hidrômetros?. **Engenharia Sanitaria e Ambienta**l, [s.l.], v. 15, n. 2, p.177-186, jun. 2010.

Tabela 52 – Valores de duração de descargas (por usuário e por uso) e de vazão dos aparelhos sanitários utilizados na simulação do modelo probabilístico aberto

Aparelho sanitário	**Duração da descarga (s)**			**Vazão (l/s)**		
	Mín.	**Mais prov.**	**Máx.**	**Mín**	**Mais prov.**	**Máx**
Lavatório	15	25	30	0,05	0,07	0,10
Bacia sanitária	45	68	85	0,08	0,10	0,15
Chuveiro	300	480	900	0,05	0,09	0,12
Pia	15	30	60	0,10	0,12	0,20
Máquina de lavar roupas	480	720	960	0,1	0,13	0,19
Tanque	20	30	40	0,1	0,15	0,2

Fonte: Ilha; Oliveira; Gonçalves (2010, p. 183)

Tabela 53 – Valores do número de usos per capita utilizados na simulação do modelo probabilístico aberto

Aparelho sanitário	**Simulação A**			**Simulação B**			**Simulação C**		
	Número de usos per capita			**Número de usos per capita**			**Número de usos per capita**		
	Mín.	**Mais prov.**	**Máx.**	**Mín.**	**Mais prov.**	**Máx.**	**Mín.**	**Mais prov.**	**Máx.**
Lv social	1	1	2	0	1	2	1	1	2
Lv suíte	-	-	-	-	-	-	0	1	1
BS social	0	1	1	0	1	1	0	1	1
BS suíte	-	-	-	-	-	-	0	1	1
Ch social	0	1	1	0	1	1	0	1	1
Ch suíte	-	-	-	-	-	-	0	1	1
P	3	4	6	3	5	8	3	4	6
MLR	0	1	2	0	1	2	0	1	2
Tq	0	1	1	0	1	1	0	1	1

Mín: mínimo; Mais prov: mais provável; Máx: máximo; Lv: lavatório; BS: bacia sanitária; Ch: chuveiro; P: pia da cozinha; MLR: máquina de lavar roupas; Tq: tanque de lavar roupas.

Fonte: Ilha; Oliveira; Gonçalves (2010, p. 183)

ANEXO R – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 18

18: LOMBARDI, L. R. **Dispositivos poupadores de água em um sistema predial: análise da viabilidade técnico-econômica de implementação no instituto de pesquisas hidráulicas**. 2012. 75f. Trabalho de diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

Tabela 54 – Médias de consumo dos frequentadores de uma instituição de ensino superior

Aparelho	Usuários								
	Alunos			Professores			Funcionários		
	Usos por dia	Tempo (s/uso)	Cons. per capita (l/dia)	Usos por dia	Tempo (s/uso)	Cons. per capita (l/dia)	Usos por dia	Tempo (s/uso)	Cons. per capita (l/dia)
Torneira	2,79	8,87	2,13	3,24	9,92	2,65	4,00	11,56	4,11
V. Sanitário	1,39	5,38	17,05	1,54	5,28	17,82	1,88	6,34	26,52
Mictório	1,58	7,52	1,88	2,18	6,06	2,43	2,71	7,75	3,24

Fonte: Marinoski (2007, apud LOMBARDI, 2012, p. 27)

ANEXO S – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 19

19: DOCOL. **Manual da Docol**: Docolmatic. S. l., 201?, 70 p.

Tabela 55 – Economa presumida, baseada em estudos de caso

Local	**Vazão média (litros/seg)**	**Produtos indicados para banheiros e vestiários**	**Redução média (%)**	**Período de retorno**
Chuveiro	0,2	Registro regulador de vazão	40	até 2 meses
		Válvula de fechamento automático	42	de 2 a 5 meses
		Válvula de acionamento com os pés	45	de 5 a 9 meses
Lavatório	0,1	Registro regulador de vazão	40	até 2 meses
		Arejador para bica ou torneira	24	de 2 a 5 meses
		Torneira automática	48	até 2 meses
		Torneira eletrônica	58	de 2 a 5 meses
Mictório	0,1	Válvula eletrônica	50	de 2 a 5 meses
Local	**Vazão média (litros/seg)**	**Produtos indicados para cozinhas**	**Redução média (%)**	**Período de retorno**
Pia	0,13	Arejador para bica ou torneira	24	até 2 meses
		Torneira automática	48	de 2 a 5 meses
		Válvula de acionamento com os pés	52	de 2 a 5 meses
Local	**Vazão média (litros/seg)**	**Produtos indicados para áreas comuns e lazer**	**Redução média (%)**	**Período de retorno**
Chuveiro e piscina	-	Registro regulador de vazão	40	até 2 meses
		Torneira automática	48	até 2 meses
		Válvula de acionamento com os pés	45	de 2 a 5 meses

Fonte: Agência Nacional das Águas (apud DOCOL, 200?, p. 7)

ANEXO T – TABELAS SOBRE ECONOMIA E CONSUMO DO ESTUDO 20

20: FIORI, S. **Avaliação qualitativa e quantitativa do potencial de reuso de água cinza em edifícios residenciais multifamiliares**. 2005. 135 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

Tabela 56 – Valores de água cinza gerados em apartamentos da amostra piloto

Aaprelho	**Volume de água cinza em apartamento com máquina de lavar louça**			**Volume de água cinza em apartamento sem máquina de lavar louça**		
	(%)	**(l/semana)**	**(m^3/mês)**	**(%)**	**(l/semana)**	**(m^3/mês)**
Chuveiro	38,4	2726,5	10,9	38,7	2726,3	10,9
Máquina de lavar roupa	22,5	1597,1	6,38	22,7	1597,1	6,38
Pia da cozinha	18,9	1345,4	5,38	19,7	1385,2	5,54
Lavatório	13,1	932,1	3,72	13,2	932,1	3,72
Tanque	5,6	400,9	1,60	5,7	400,9	1,6
Máquina de lavar louça	1,4	102,6	0,41	-	-	-
Total	100	7104,5	28,41	100,0	7041,8	28,16

Fonte: Fiori (2005, p. 84)

Tabela 57 – Resultados gráficos dos volumes de água cinza gerados por tipologia dos apartamentos

Percentual de água cinza gerado por tipologia de apartamento (%)							
Tipologia	**Equipamento**						
	PC	**MLL**	**MLR**	**TQ**	**CH**	**LV**	**BAN**
Tipo 1	18,6	1,8	19,2	8,4	35,5	10,9	5,5
Tipo 2	19,1	-	19,5	8,5	36,1	11,1	5,6
Tipo 2	23,0	2,3	-	10,4	43,9	13,5	6,9
Tipo 3	19,7	2,0	20,3	8,9	37,6	11,6	-
Tipo 4	20,3	-	20,6	9,1	38,3	11,8	-
1	24,7	2,5	-	11,2	47,2	14,5	-
1	23,6	-	-	10,6	44,8	13,8	7,0
1	25,5	-	-	11,4	46,2	14,9	-

PC: pia da cozinha; MLL: máquina de lavar louça; MLR: máquina de lavar roupa; TQ: tanque; CH: chuveiro; LV: lavatório; BAN: banheira. Tipologia 1: PC, MLL, MLR, TQ, CH, LV e BAN. Tipologia 2: PC, MLR, TQ, CH, LV e BAN. Tipologia 3: PC, MLL, TQ, CH, LV e BAN. Tipologia 4: PC, MLL, MLR, TQ, CH e LV. Tipologia 5: PC, MLR, TQ, CH e LV. Tipologia 6: PC, MLL, TQ, CH e LV. Tipologia 7: PC, TQ, CH, LV e BAN. Tipologia 8: PC, TQ, CH e LV.

Fonte: Fiori (2005, p. 90)

Tabela 58 – Distribuição do consumo de água por aparelho, conforme a tipologia dos apartamentos (de acordo com as tipologias da Tabela 74)

Aparelho	**Consumo em apartamento com bacia sanitária de 12 litros (%)**							
	Tipologia							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Chuveiro	30,6	31,0	36,6	32,1	32,6	38,9	37,2	39,5
Máquina de lavar roupa	16,5	16,7	-	17,3	17,6	-	-	-
Pia da cozinha	16,0	16,4	19,2	16,8	17,3	20,3	19,7	21,0
Lavatório	9,4	9,6	11,3	9,9	10,0	12,0	11,5	12,2
Banheira	4,8	4,8	5,7	-	-	-	5,8	-
Tanque	7,2	7,3	8,7	7,6	7,7	9,2	8,8	9,4
Máquina de lavar louça	1,6	-	1,9	1,7	-	2	-	-
Bacia sanitária	13,9	14,1	16,6	14,6	14,8	17,6	16,9	18
Aparelho	**Consumo em apartamento com bacia sanitária de 6 litros (%)**							
	Tipologia							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Chuveiro	22,9	33,5	40,0	34,6	35,2	42,6	40,7	43,3
Máquina de lavar roupa	17,7	17,8	-	18,7	19,0	-	-	-
Pia da cozinha	17,2	17,7	20,9	18,1	18,6	22,3	21,6	23,0
Lavatório	10,1	10,2	12,3	10,7	10,8	13,1	12,5	13,4
Banheira	5,1	5,2	6,2	-	-	-	6,4	-
Tanque	7,8	7,9	9,5	8,2	8,3	10,1	9,6	10,3
Máquina de lavar louça	1,7	-	2,1	1,8	-	2,2	-	-
Bacia sanitária	7,5	7,6	9,1	7,9	8,0	9,7	9,2	10,0

Fonte: adaptado de Fiori (2005, p. 94)

Tabela 59 – Distribuição do consumo de água potável e economia de água com o reuso

Tipologia do apart.	**Consumo de água potável[1] (l/semana)**	**Consumo de água potável[2] (l/semana)**	**Consumo de água potável[1] (m^3/mês)**	**Consumo de água potável[2] (m^3/mês)**	**Economia com reuso na BS[3] (%)**	**Economia com reuso na BS[3] (%)**
1	8952	8330	35,8	33,3	13,9	7,5
2	8829	8180	35,3	32,7	14,1	7,6
3	7475	6853	29,9	27,4	16,6	9,1
4	8524	7902	34,0	31,6	14,6	7,9
5	8401	7779	33,6	31,1	14,8	8,0
6	7047	6425	28,1	25,7	17,6	9,7
7	7351	6729	29,4	26,9	17,0	9,2
08	6923	6302	27,6	25,2	18,0	10,0

Fonte: Fiori (2005, p. 95)

ANEXO U – ESPECIFICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS HIDRÁULICOS ECONOMIZADORES

Quadro 10 – Especificação de equipamentos hidráulicos economizadores

(continua)

Equip.	Tipo	Características principais
Torneiras	**Hidromecânicas**  a) b)  c) d)	O controle da vazão é obtido pela regulagem de um registro regulador de vazão, ou seja, os usuários não interferem na vazão, que é convenientemente regulada em função da pressão existente no ponto. A temporização do ciclo de funcionamento também resulta na redução do consumo de água. Este tempo não deve ser muito curto, para evitar que o usuário tenha que acioná-lo várias vezes em uma única operação de lavagem, além de causar desconforto. Este sistema pode ser instalado em sanitários/vestiários de escolas, indústrias, shopping centers, edificações comerciais, escritórios, estádios de futebol e hospitais, entre outros.
	Acionadas por sensor  a) b)  c) d)	O comando e ciclo de funcionamento destes equipamentos se dá pela ação de um sensor de presença. O sensor capta a presença das mãos do usuário, quando este as aproxima da torneira, liberando assim o fluxo de água. A alimentação elétrica do sistema pode-se dar pelo uso de baterias alcalinas ou pela rede de distribuição elétrica do local (127/220V). A presença do sensor no corpo da torneira é uma solução adequada quanto à questão do vandalismo. Este sistema pode ser instalado em shopping centers, edificações comerciais, escritórios, hospitais e restaurantes entre outros.

Quadro 10 – Especificação de equipamentos hidráulicos economizadores

(continua)

<table>
<tr><th>Equip.</th><th>Tipo</th><th>Características principais</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Arejadores</td><td>Arejadores tradicionais</td><td rowspan="3">Dispositivo regulador e abrandador do fluxo de saída de água usualmente montado na extremidade de torneira e bicas em geral, destinado a promover o direcionamento do fluxo de água, evitando dispersões laterais e amortecendo o impacto do jato de água contra as partes que estão sendo lavadas. É também um componente que propicia a redução de consumo de água sem comprometimento das operações de lavagem em geral, desde o uso doméstico até cozinhas industriais. Os arejadores funcionam pelo princípio de Venturi incorporando considerável quantidade de ar ao fluxo de água e reduzindo a vazão e o volume de água utilizado.

Observação: Nas unidades residenciais, onde existem torneiras convencionais, sugere-se instalar arejadores.</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>Arejadores de vazão constante</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">O arejador de vazão constante além das características de um arejador convencional possui um dispositivo que limita a vazão de torneiras em 6 litros por minuto, reduzindo o consumo em aproximadamente 30% quando comparado com arejadores convencionais, além de aumentar o conforto do usuário.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Dispositivos de descarga para mictórios convencionais</td><td>Válvula de acionamento hidromecânico</td><td rowspan="2">Esta válvula é caracterizada por um corpo metálico externo que controla e conduz a água até o mictório. Para o acionamento da descarga, o usuário deve pressionar o acionador da válvula liberando o fluxo de água para a bacia do mictório. Após o acionamento pelo usuário, ocorre o fechamento temporizado pela ação hidromecânica da válvula. Este tipo de equipamento pode ser utilizado, entre outros, nas seguintes tipologias de edificações: indústrias, escolas, shopping centers, hospitais, clubes, escritórios, estádios, terminais de passageiros.</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>Válvula de acionamento por sensor de presença</td><td rowspan="3">Neste tipo de equipamento, quando o usuário se aproxima e se posiciona de frente ao mictório, o sensor que emite continuamente um sinal imperceptível ao usuário, infravermelho ou ultra-som, detecta a sua presença.

Em geral, na maioria dos equipamentos, o fluxo de água só é liberado após o afastamento do usuário, o que garante um menor consumo de água. O sensor, associado a um microprocessador, emite um sinal até uma válvula do tipo solenóide, de funcionamento elétrico, que libera o volume de água da descarga. Neste tipo de equipamento, o tempo médio de acionamento dos produtos encontrados no mercado encontra-se em torno de 5 a 6 segundos. O sistema elétrico do equipamento pode ser alimentado por baterias alcalinas</td></tr>
<tr><td></td></tr>
<tr><td>a)</td></tr>
</table>

Quadro 10 – Especificação de equipamentos hidráulicos economizadores

(continua)

Equip.	Tipo	Características principais
Dispositivos de descarga para mictórios convencionais	**Válvulas de acionamento por sensor de presença**	de 6 e 9 VDC, ou pelo próprio sistema predial elétrico de 127/220V. Estas características devem ser observadas quando da aquisição do equipamento e em função das características físicas do local a ser instalado. Uma das principais vantagens deste sistema frente aos demais é quanto à questão da higiene do usuário, uma vez que este não entra em contato direto com nenhum componente do sistema. Existem também válvulas eletrônicas que por serem embutidas na parede possuem grande resistência a vandalismo e permitem higienização completa do mictório por não necessitar do flexível para alimentar o mictório (mictório com entrada de água posterior), tornando-se apropriado para locais como estádios de futebol, escolas, centros cirúrgicos, indústrias farmacêuticas, hospitais, etc.
	 b)	
Mictório sem água	**Individuais**	É um sistema que não utiliza água na operação. O mictório sem água é constituído dos seguintes componentes: bacia cerâmica, suporte do cartucho, cartucho, líquido selante, chave para troca do cartucho e protetor para a superfície do cartucho – opcional. O líquido selante é uma substância composta por mais de 90% de álcoois graxos e o restante de biocida e corantes. Sua cor predominante é o azul e apresenta densidade menor que a da água e da urina, permanecendo em suspensão nas mesmas. O líquido selante se localiza em suspensão na primeira câmara do cartucho. A urina entra pelos orifícios da parte superior do cartucho, penetrando na primeira câmara através do líquido selante que está em suspensão e preenchendo toda a superfície superior do líquido desta câmara. Pelo sistema de vasos comunicantes, a urina é expelida pelo orifício de saída do cartucho, sendo coletada pelo copo do suporte e de lá para a rede de esgoto. A manutenção requerida pelo sistema é a substituição periódica do cartucho, que se trata de uma peça descartável. A durabilidade do cartucho está associada à obstrução de suas cavidades por material bioquímico que se acumula em seu interior e pelo carreamento do líquido selante.
		
Chuveiros e duchas	**Registros reguladores de vazão para chuveiros e duchas**	Há uma grande variedade de tipos e modelos de duchas no mercado, com as mais diversas vazões. Uma intervenção passível tanto em duchas de ambientes sanitários públicos como de residências é a introdução de um registro regulador de vazão que é empregado para reduzir vazões excessivas, normal-

Quadro 10 – Especificação de equipamentos hidráulicos economizadores

(continua)

Equip.	Tipo	Características principais
Chuveiros e duchas	**Registros regulador de vazão para chuveiros e duchas**	mente existente em condições de alta pressão. Tais dispositivos podem ser aplicados em chuveiros e duchas e possibilitam a regulagem da vazão a níveis de conforto e economia conforme o tipo de chuveiro empregado, a pressão existente no ponto e hábitos de usuários. Outro procedimento também pode ser a instalação de um dispositivo restritor de vazão. Uma das vantagens do uso do restritor de vazão é que a mesma permanece constante dentro de uma faixa de pressão, geralmente de 10 mca a 40 mca. Existem restritores de vazão com os mais diferentes valores de vazão, por exemplo, para 6, 8, 10, 12 e 14 litros/minuto. Ressalta-se que são recomendados para valores de pressão hidráulica superiores a 10 mca. As desvantagens dos restritores de vazão são: a impossibilidade de regulagem da vazão quando há diferencial de pressão entre água quente e fria, para evitar “queimadas” e também o fato que tais restritores entopem com certa facilidade ocasionando o problema acima apontado ou a necessidade periódica de desmontagem para limpeza.
		
	Válvulas de fechamento automático para chuveiros e duchas	Outra forma para redução do consumo de água nos chuveiros é a instalação de válvulas de fechamento automático para chuveiros, que funciona nos mesmos moldes, por exemplo, das torneiras hidromecânicas, porém com ciclo de funcionamento em torno de 35 segundos. Contudo o aparelho mais encontrado nas instalações hidráulicas é o registro de pressão. A desvantagem do registro de pressão é que o mesmo pode ser mal fechado, ou permanecer aberto desnecessariamente, resultando em consumo excessivo. A instalação dessas válvulas de fechamento automático para chuveiro, juntamente com os registros reguladores de vazão para chuveiro, propiciam os melhores resultados em nível de redução do consumo de água. Nesse sentido, é muito importante lembrar que os chuveiros são responsáveis em média por 41% do volume de água em apartamentos, 78% do consumo de água em apartamento tipo flat e também consumos elevados em vestiários de uso coletivo em geral.
		

Quadro 10 – Especificação de equipamentos hidráulicos economizadores
(continua)

Equip.	Tipo	Características principais
Bacias sanitárias	**Com válvulas de descarga de ciclo seletivo** 	As bacias sanitárias para instalação com válvulas que hoje são encontradas no mercado caracterizam-se por necessitar de apenas 6 litros para propiciar a limpeza completa.
	Com caixa acoplada 	Apresentam funcionamento com 6 litros. Estas bacias apresentam funcionamento sifônico ou de arraste.
Dispositivos para acionamento de descarga para bacia sanitária	**Válvula de descarga de ciclo seletivo**	A válvula de descarga de ciclo de funcionamento seletivo, mais comumente empregada em instalações sanitárias, caracteriza-se por propiciar ao usuário a possibilidade de descargas de 2 a 7 litros conforme o material existente na bacia sanitária. No caso de material líquido ou pequenos dejetos, que são 90% do uso em uma residência, o volume de água necessário para limpeza da bacia situa-se entre 3 e 4 litros, o que pode representar considerável economia com relação a sistemas com volume de descarga fixo. Para maior eficiência e maiores resultados em nível de redução do consumo de água, essas válvulas possuem um registro integrado que convenientemente regulado propicia a vazão ideal para o sifonamento da bacia, ou seja, a vazão que permitirá o completo sifonamento da bacia com o maior volume de água.
	Válvula de descarga de cilclo fixo	O acionamento se dá por um dispositivo, presente no corpo da válvula, em forma de alavanca. O usuário aciona esta alavanca, resultando na descarga. Por mais que o usuário permaneça acionando a alavanca, somente o volume previamente regulado para a descarga será liberado. Para a liberação de novo volume de água, a alavanca deverá ser acionada novamente.

Quadro 10 – Especificação de equipamentos hidráulicos economizadores
(conclusão)

Equip.	Tipo	Características principais
Dispositivos para acionamento de descarga para bacia sanitária	**Válvula de descarga de duplo acionamento** 	Existem dispositivos conhecidos como “duo-flush” que possibilitam dois tipos de acionamento da válvula de descarga. A válvula de descarga, contém dois botões: um deles, quando acionado, resulta em uma descarga completa para o arraste de efluente com sólidos. O acionamento do outro botão resulta em uma meia descarga, geralmente de 3 litros, para limpeza apenas de efluente líquido na bacia sanitária.
	Válvula de descarga por sensor 	Outro tipo de válvula é com acionamento por sensor de presença. A alimentação elétrica deste sistema pode ser feita com o uso de baterias alcalinas ou por rede elétrica, 127/220V. O usuário deve permanecer por um período de tempo mínimo no raio de alcance do sensor, normalmente 5 segundos, para que o sistema se arme. Após a saída do usuário do alcance é efetuada a descarga pela válvula solenóide. O volume por descarga pode ser regulado para 6 litros de água.
	Mecanismo para caixa de descarga com duplo acionamento 	Existem dispositivos conhecidos como “duo-flush” que possibilitam dois tipos de acionamento da descarga de água. O dispositivo de descarga, geralmente incorporado na caixa acoplada, contém dois botões: um deles, quando acionado, resulta em uma descarga completa para o arraste de efluente com sólidos. O acionamento do outro botão resulta em uma meia descarga, geralmente de 3 litros, para limpeza apenas de efluente líquido na bacia sanitária.
Redutores de vazão	**Registro regulador de vazão para lavatório** 	Além dos registros reguladores de vazão para chuveiros, conforme descrito acima, estão também disponíveis no mercado os registros reguladores de vazão para lavatórios, que podem ser aplicados, tanto para torneiras como para misturadores. Esses registros possibilitam reduções muito significativas quando regulados adequadamente e instalados com as torneiras de fechamento automático de funcionamento hidromecânico.
Redutores de pressão	Caso uma determinada área da edificação apresente uma pressão elevada, pode ser mais conveniente a instalação de uma válvula redutora de pressão na tubulação de entrada de água da área. Estes dispositivos mantêm a vazão constante em uma faixa de pressão, em geral, de 10 a 40 mca.	

Fonte: adaptado de ANA; FIESP SINDUSCON-SP (2005, p. 139-146)
Fonte das Figuras: Docol (201?); Docol (201?); Celite (2015); Deca (2017)