

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**VALIDAÇÃO DO ALGORITMO DO PROGRAMA NETUNO PARA
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL
E DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE SISTEMAS DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM EDIFICAÇÕES**

VINICIUS LUIS ROCHA

FLORIANÓPOLIS

2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**VALIDAÇÃO DO ALGORITMO DO PROGRAMA NETUNO PARA
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL
E DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE SISTEMAS DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM EDIFICAÇÕES**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

VINICIUS LUIS ROCHA
Orientador: Prof. Enedir Ghisi, PhD.

FLORIANÓPOLIS
2009

**VALIDAÇÃO DO ALGORITMO DO PROGRAMA NETUNO PARA
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL
E DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE SISTEMAS DE
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM EDIFICAÇÕES**

VINICIUS LUIS ROCHA

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil
pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Glicério Trichês, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Prof. Eneir Ghisi, PhD.
Orientador

Banca examinadora:

Prof. Luis Alberto Gómez, Dr.
ECV/UFSC

Prof. Racine Tadeu Araujo Prado, Dr.
USP

Prof. Masato Kobiyama, Dr.
ENS/UFSC

Florianópolis, 08 de maio de 2009.

Agradecimentos

Há muito tempo venho esboçando esta página e imaginando o momento em que eu poderia agradecer por tudo que me foi concedido para que este curso de pós-graduação fosse realizado. Tenho absoluta consciência de que sozinho e sem ajuda de inúmeras pessoas, jamais eu cumpriria esta etapa - ensinamento que levo para a minha vida pessoal e profissional.

Com satisfação, agradeço a todas as pessoas e instituições que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

Aos Professores Alceu Gomes de Andrade Filho e Ariel Orlei Michaloski, pela confiança ao indicarem o meu nome para a realização deste curso.

Aos Professores Ely Costa Cardona de Aguiar e Cezar Augusto Romano, pela concessão de afastamento das atividades profissionais junto à UTFPR.

Ao Professor Enedir Ghisi, pela orientação impecável, paciência, compreensão e, especialmente, pela amizade. Agradeço ainda pelas oportunidades de desenvolvimento profissional, criadas nos 2 anos em que estive em Florianópolis.

Ao Professor Roberto Lamberts por permitir que as instalações da Casa Eficiente fossem utilizadas para esta pesquisa.

À Juliana Oliveira Batista, arquiteta e amiga, que competentemente gerenciou a Casa Eficiente, viabilizando os recursos necessários para instrumentação do sistema de aproveitamento de água pluvial.

Ao Engenheiro Marcio Antonio Nogueira Andrade pelas melhorias realizadas no sistema de captação de água pluvial da Casa Eficiente.

A todos os autores que gentilmente disponibilizaram suas obras para a realização da revisão bibliográfica.

Aos Professores Luiz Alberto Gómez, Masato Kobiyama e Racine Tadeu Araujo Prado, pela leitura e sugestões no exame de qualificação. Ao Professor Luiz agradeço também pela aquisição e empréstimo do transmissor de nível hidrostático.

À Engenheira Ana Kelly Marinoski e à acadêmica de Arquitetura Rosana Debiasi, por toda ajuda despendida na coleta de dados, imprescindível para a realização deste trabalho.

Ao Engenheiro Humberto Tamaki pela presteza nas informações concedidas sobre o sistema de telemedicação do PURA-USP.

Ao Sr. Cneu Carlotto Carli, da Contécnica Medição, Comércio e Serviços, pelo atendimento às solicitações referentes ao sistema de medição individualizada.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia e a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, pela cessão de dados de precipitação e informações sobre estações meteorológicas de Florianópolis.

À Marinea do PPGEC e à amiga Izabel Siqueira, da UTFPR, pela cooperação e assistências prestadas.

Ao Engenheiro Bernardo Perna e a todos os amigos da Divisão de Projetos Cíveis de Subestações da COPEL, pelo apoio na etapa final deste trabalho.

À Viviane, minha esposa, por me apoiar e acompanhar nesta empreitada. Ao Matheus, meu filho, pelo carinho e pelos momentos de alegria.

À minha mãe, pelo esforço para que os primeiros passos fossem dados e, também, pelos recursos disponibilizados para a realização deste curso e no retorno a Curitiba.

A todos os familiares que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Aos amigos Rafael Fernandes Silveira e Gustavo Rodolfo Perius, pelo companheirismo nos estudos e trabalhos realizados.

Aos amigos do LabEEE, pelo apoio, troca de experiências e pelos momentos de descontração.

Muito obrigado e um forte abraço a todos!

Sumário

Agradecimentos	iv
Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	xii
Lista de Abreviaturas e Siglas	xiv
Lista de Símbolos	xv
Resumo	xvi
Abstract	xvii
1. Introdução	1
1.1. Caracterização do problema	1
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. Objetivo geral	6
1.2.2. Objetivos específicos	6
1.3. Estrutura da dissertação.....	7
2. Revisão Bibliográfica	8
2.1. Consumo de água potável no Brasil.....	8
2.2. Usos finais de água	13
2.3. Dimensionamento de reservatórios.....	20
2.3.1. Variáveis envolvidas.....	20
2.3.1.1. Precipitação pluviométrica	21
2.3.3.2. Coeficiente de aproveitamento de água pluvial	26
2.3.2. Métodos de dimensionamento	28
2.3.2.1. Modelos comportamentais.....	29
2.3.2.2. Programa computacional Netuno	33
2.3.2.3. Método de Rippl.....	37
2.3.2.4. Método estatístico.....	39
2.3.2.5. Método de Monte Carlo	41
2.3.2.6. Métodos práticos	42
2.4. Estudos sobre aproveitamento de água pluvial.....	42
2.5. Considerações finais	53
3. Metodologia	55
3.1. Objeto de estudo	56
3.1.1. Instrumentação do sistema de aproveitamento de água pluvial	59
3.1.2. Captação de água pluvial.....	64
3.1.3. Reservatórios de armazenamento de água pluvial	65
3.2. Coleta e tratamento preliminar de dados	67

3.2.1. Período de aquisição de dados e ocupação da edificação	67
3.2.2. Demanda de água potável	68
3.2.3. Intervenção na demanda de água pluvial	69
3.2.4. Consumo de água potável	71
3.2.5. Consumo de água pluvial	73
3.2.6. Precipitação pluviométrica	73
3.2.7. Coeficiente de aproveitamento de água pluvial	75
3.2.7.1. Área de captação	76
3.2.7.2. Volume aproveitável de água pluvial	77
3.3. Avaliação do potencial e da economia de água potável	80
3.3.1. Potencial de economia de água potável	80
3.3.2. Economia de água potável	83
3.3.3. Comparações	84
3.4. Verificação do intervalo de tempo mais adequado para estimar o potencial de economia de água potável	84
3.5. Avaliação da influência de diferentes índices pluviométricos no potencial de economia de água potável	85
4. Resultados	86
4.1. Coleta e tratamento preliminar de dados	86
4.1.1. Demanda de água pluvial	86
4.1.2. Consumo de água potável e pluvial	90
4.1.3. Precipitação pluviométrica	95
4.1.4. Coeficiente de aproveitamento de água pluvial	99
4.2. Avaliação do potencial e da economia de água potável	108
4.2.1. Economia de água potável obtida na Casa Eficiente	108
4.2.2. Potencial de economia de água potável estimado pelo Netuno	110
4.2.2.1. Avaliação semanal individual	110
4.2.2.2. Avaliação semanal acumulada	114
4.2.2.3. Avaliação para demandas médias de água potável e pluvial	122
4.3. Avaliação da influência de diferentes índices pluviométricos no potencial de economia de água potável	124
5. Conclusões	128
5.1. Conclusões gerais	128
5.2. Limitações do trabalho	131
5.3. Sugestões para trabalhos futuros	132
Referências bibliográficas	133
Apêndices	145

Lista de Figuras

Figura 1. Distribuição percentual da área territorial, disponibilidade hídrica e população nas cinco regiões brasileiras para o ano 2000.	2
Figura 2. Disponibilidade hídrica estimada por região para o período 2000-2100.	4
Figura 3. Distribuição dos usos consuntivos de água no Brasil.	8
Figura 4. Evolução da população e do consumo de água no Brasil no período 1995-2005. ...	9
Figura 5. Evolução do consumo de água nas regiões brasileiras no período 1995-2005. ...	10
Figura 6. Evolução do consumo de água em Florianópolis e em Santa Catarina no período 2001-2005.	12
Figura 7. Variação do uso final de água potável para fins não potáveis em residências localizadas em Bom Jesus de Itabapoana, RJ.	16
Figura 8. Precipitação pluviométrica anual média no Brasil no período 1961-1990. ...	23
Figura 9. Precipitação pluviométrica anual de Florianópolis no período 1970-2005. ...	24
Figura 10. Precipitação pluviométrica mensal média de Florianópolis no período 1970-2005.	25
Figura 11. Precipitação pluviométrica diária de Florianópolis no período 2001-2003.	25
Figura 12. Número médio de dias consecutivos sem chuva em Florianópolis no período 2001-2003.	26
Figura 13. Princípio de transferência de massa.	29
Figura 14. Configuração básica de um sistema de aproveitamento de água pluvial. ...	30
Figura 15. Algoritmo do programa Netuno para obtenção do volume de água pluvial armazenado no reservatório.	35
Figura 16. Algoritmo do programa Netuno para obtenção do volume de água pluvial consumido.	36
Figura 17. Economia de água potável efetiva e economia predita pelo algoritmo YAS.	43
Figura 18. Exemplo de curvas utilizadas para determinar o parâmetro θ	45
Figura 19. Gráfico utilizado na análise de viabilidade econômica do programa RainCycle.	47
Figura 20. Mapa do Brasil com a localização da cidade de Florianópolis, SC.	56
Figura 21. Localização da Casa Eficiente em Florianópolis.	56
Figura 22. Esquema do sistema de aproveitamento de água pluvial da Casa Eficiente. ...	57
Figura 23. Equipamentos utilizados para manutenção e melhoria da qualidade da água pluvial na Casa Eficiente.	59
Figura 24. Disposição dos instrumentos de monitoramento no sistema de aproveitamento de água pluvial da Casa Eficiente.	60
Figura 25. Hidrômetro utilizado na Casa Eficiente.	61
Figura 26. Sistema de medição individualizada.	62

Figura 27. Instrumentos utilizados no reservatório inferior de água pluvial.	62
Figura 28. Estação meteorológica e pluviômetro da Casa Eficiente.....	63
Figura 29. Planta de cobertura da Casa Eficiente.....	64
Figura 30. Fachadas norte e sul da Casa Eficiente.....	65
Figura 31. Fachadas leste e oeste da Casa Eficiente.....	65
Figura 32. Dimensões do reservatório inferior de água pluvial.	66
Figura 33. Detalhes das chaves de nível do reservatório superior de água pluvial.	67
Figura 34. Fluxograma para obtenção do consumo de água potável utilizado para complementar a demanda de água pluvial.....	72
Figura 35. Distribuição das estações meteorológicas em relação à Casa Eficiente... ..	74
Figura 36. Algoritmo modificado do programa Netuno para obtenção do volume de água pluvial armazenado no reservatório.	81
Figura 37. Algoritmo modificado do programa Netuno para obtenção do volume de água pluvial consumido.....	82
Figura 38. Dispositivos utilizados para o descarte da demanda de água pluvial.	87
Figura 39. Demanda diária de água pluvial no período 1.....	88
Figura 40. Demanda diária de água pluvial nos períodos 2 e 3.....	89
Figura 41. Demanda diária de água pluvial no período 4.....	90
Figura 42. Consumo diário de água pluvial e de água potável para complementar a demanda de água pluvial no período 1.	91
Figura 43. Consumo diário de água pluvial e de água potável para complementar a demanda de água pluvial nos períodos 2 e 3.....	92
Figura 44. Consumo diário de água pluvial e de água potável para complementar a demanda de água pluvial no período 4.	92
Figura 45. Consumo diário de água potável no período 1.	94
Figura 46. Consumo diário de água potável nos períodos 2 e 3.....	94
Figura 47. Consumo diário de água potável no período 4.	94
Figura 48. Precipitação mensal registrada por cinco estações meteorológicas de Florianópolis, SC.	96
Figura 49. Precipitação diária registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente e pela estação automática do INMET no período 1.	97
Figura 50. Precipitação diária registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente e pela estação automática do INMET no período 2.	97
Figura 51. Correlação entre a precipitação diária registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente e pela estação automática do INMET nos períodos 1 e 2.....	98

Figura 52. Correlação entre a precipitação horária registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente e pela estação automática do INMET nos períodos 1 e 2.....	98
Figura 53. Correlação entre a precipitação diária registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente e pela estação convencional da EPAGRI nos períodos 1 e 2.....	99
Figura 54. Recalque diário de água pluvial no período 1.....	100
Figura 55. Recalque diário de água pluvial nos períodos 2 e 3.	101
Figura 56. Recalque diário de água pluvial no período 4.....	101
Figura 57. Variação do nível de água no reservatório inferior e recalque de água pluvial no período 1.	102
Figura 58. Variação do nível de água no reservatório inferior e recalque de água pluvial nos períodos 2 e 3.....	103
Figura 59. Variação do nível de água no reservatório inferior e recalque de água pluvial no período 4.	103
Figura 60. Fotos do beiral do telhado voltado para a fachada oeste da Casa Eficiente.....	106
Figura 61. Correlação entre o coeficiente de aproveitamento de água pluvial e a velocidade média do vento registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente.	107
Figura 62. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais individuais e intervalo de tempo diário - período 1.....	111
Figura 63. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais individuais e intervalo de tempo horário - período 1.	111
Figura 64. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais individuais e diferentes intervalos de tempo - período 2.	112
Figura 65. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais individuais e diferentes intervalos de tempo - período 3.	112
Figura 66. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais individuais e diferentes intervalos de tempo - período 4.	113
Figura 67. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais acumulados e intervalo de tempo diário - período 1.....	117
Figura 68. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais acumulados e intervalo de tempo horário - período 1.	117
Figura 69. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais acumulados e diferentes intervalos de tempo - período 2.	118
Figura 70. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais acumulados e diferentes intervalos de tempo - período 3.	118

Figura 71. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais acumulados e diferentes intervalos de tempo - período 4.	119
Figura 72. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando demandas médias de água potável e pluvial, coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário - período 1.	123
Figura 73. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando demandas médias de água potável e pluvial, coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário - períodos 2 e 3.	123
Figura 74. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando demandas médias de água potável e pluvial, coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário - período 4.	124
Figura 75. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados de precipitação de diferentes estações meteorológicas, coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário - período 1.	126
Figura 76. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados de precipitação de diferentes estações meteorológicas, coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário - período 2.	127
Figura 77. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados de precipitação de diferentes estações meteorológicas, coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário - períodos 3 e 4.	127

Lista de Tabelas

Tabela 1. Classificação da disponibilidade hídrica de acordo com UNEP (2002).....	3
Tabela 2. Disponibilidade hídrica no Brasil.	3
Tabela 3. Consumo de água potável nos Estados do Brasil no período 1995-2005.	11
Tabela 4. Uso final de água potável para consumo doméstico em diferentes países. ...	13
Tabela 5. Uso final de água potável para consumo doméstico em um apartamento da CDHU.	14
Tabela 6. Uso final de água potável para consumo doméstico em residências localizadas em Bom Jesus de Itabapoana, RJ.....	15
Tabela 7. Uso final de água potável para consumo doméstico em apartamentos com bacia sanitária de 12 litros/descarga localizados em Passo Fundo, RS.	17
Tabela 8. Uso final de água potável para consumo doméstico em apartamentos com bacia sanitária de 6 litros/descarga localizados em Passo Fundo, RS.	17
Tabela 9. Uso final de água potável para consumo doméstico em um condomínio residencial localizado no bairro Serrinha em Florianópolis, SC.	18
Tabela 10. Uso final de água potável para consumo doméstico em um condomínio residencial localizado no bairro Trindade em Florianópolis, SC.....	18
Tabela 11. Uso final de água potável para consumo doméstico em duas residências localizadas em Palhoça, SC.....	19
Tabela 12. Uso final de água potável para consumo doméstico em uma residência localizada no bairro Ratoles em Florianópolis, SC.....	19
Tabela 13. Uso final de água potável para consumo doméstico em um edifício localizado no bairro Floresta em São José, SC.	20
Tabela 14. Dados de entrada utilizados para determinar o período mínimo de anos de dados pluviométricos em estudos sobre o potencial de economia de água potável.	22
Tabela 15. Período mínimo de anos de dados pluviométricos em estudos sobre o potencial de economia de água potável.....	22
Tabela 16. Coeficiente de escoamento superficial para diferentes materiais da superfície de captação.	28
Tabela 17. Intervalo de tempo para simulação de comportamento do sistema de aproveitamento de água pluvial em função da fração de armazenamento.....	45
Tabela 18. Dados de entrada e resultados obtidos nas simulações para uma escola secundária localizada em Leeds, Reino Unido.	48
Tabela 19. Volume de água pluvial, demanda de água potável e potencial de economia de água potável nas cinco regiões brasileiras.....	50

Tabela 20. Dados de entrada e resultados obtidos nas simulações para duas residências localizadas em Palhoça, SC.....	51
Tabela 21. Dados de entrada e resultados obtidos nas simulações para um condomínio residencial multifamiliar localizado em Florianópolis, SC.	52
Tabela 22. Período de monitoramento e coleta de dados na Casa Eficiente.	67
Tabela 23. Demanda de água pluvial por período de monitoramento.	69
Tabela 24. Informações complementares sobre as estações meteorológicas do INMET e da EPAGRI/CASAN.....	74
Tabela 25. Tempo de abertura diário do dispositivo utilizado para simular a demanda de água pluvial.	87
Tabela 26. Volume e tipo de água existente no reservatório superior de água pluvial antes de cada período monitorado.....	90
Tabela 27. Número de dias em que houve atendimento à demanda de água pluvial.	93
Tabela 28. Precipitação pluviométrica para cada período monitorado.	95
Tabela 29. Coeficiente de aproveitamento de água pluvial para intervalo de tempo horário.	104
Tabela 30. Coeficiente de aproveitamento de água pluvial para intervalo de tempo diário.	105
Tabela 31. Coeficiente de aproveitamento de água pluvial médio e estimado.	106
Tabela 32. Economia de água potável semanal - períodos 1 e 2.	109
Tabela 33. Economia de água potável semanal - períodos 3 e 4.	109
Tabela 34. Economias máximas e totais de água potável para cada período monitorado.....	110
Tabela 35. Máxima diferença acumulada entre os potenciais de economia estimados pelos algoritmos e a economias de água potável efetivas, na última semana de cada período monitorado.....	120
Tabela 36. Resumo das diferenças entre os potenciais de economia estimados pelos algoritmos e as economias de água potável efetivas considerando intervalo de tempo horário e coeficientes de aproveitamento estimado diário.	121
Tabela 37. Resumo das diferenças entre os potenciais de economia estimados pelos algoritmos e as economias de água potável efetivas considerando intervalo de tempo horário e coeficientes de aproveitamento médio diário.	121
Tabela 38. Demandas médias de água potável e pluvial e coeficiente de variação. .	122

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CDHU	Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbanização
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
NBR	Norma brasileira
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
SABESP	Companhia de Saneamento de São Paulo
SC	Estado de Santa Catarina
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SP	Estado de São Paulo
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNEP	Programa Ambiental das Nações Unidas
USP	Universidade de São Paulo
UTC	Tempo universal coordenado
YAS	Yield After Storage
YBS	Yield Before Storage

Lista de Símbolos

A	Área de captação, em m ²
C _p	Coefficiente de aproveitamento de água pluvial, adimensional
C _{pe}	Coefficiente de aproveitamento estimado, adimensional
C _{pm}	Coefficiente de aproveitamento médio, adimensional
C _{pluv}	Consumo de água pluvial, em litros
C _{pot}	Consumo de água potável, em litros
C _{pp}	Consumo de água potável utilizado para completar a demanda de água pluvial, em litros
D	Demanda de água potável, em litros <i>per capita</i>
D _{ap}	Demanda de água pluvial, em % da demanda de água potável
D _{apluv}	Demanda de água pluvial, em litros
E	Economia de água potável obtida na Casa Eficiente, em %
n	Número de moradores da edificação
P	Precipitação pluviométrica, em mm = litros/m ²
P _e	Potencial de economia de água potável, em %
V _{ap}	Volume aproveitável de água pluvial, em litros
V _C	Volume de água pluvial consumido, em litros
V _R	Volume de água pluvial armazenado no reservatório, em litros

Resumo

O aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em edificações é uma medida que proporciona a redução da demanda de água potável e a minimização de problemas relacionados à disponibilidade dos recursos hídricos. A eficiência dos sistemas de aproveitamento de água pluvial é afetada sobretudo pelo dimensionamento do reservatório de armazenamento. O dimensionamento adequado é essencial para evitar a operação do reservatório de forma ociosa quando superdimensionado ou insuficiente, quando subdimensionado. O objetivo principal deste trabalho é validar o algoritmo do programa computacional Netuno, utilizado para avaliar o potencial de economia de água potável e o dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial em edificações. Dados reais de consumo de água potável e pluvial, precipitação pluviométrica e da variação do nível de água no reservatório, foram obtidos junto a uma residência experimental localizada em Florianópolis. O monitoramento do sistema de aproveitamento de água pluvial da edificação ocorreu em quatro períodos distintos, totalizando 196 dias. Devido à ocupação variável da residência e, também, ao baixo consumo de água verificado em testes preliminares, foi necessário intervir na demanda de água pluvial, simulando a permanência constante de quatro moradores. Como referência para o cálculo da demanda diária de água pluvial, considerou-se uma demanda de água potável de 150 litros *per capita* por dia, e um percentual variando de 40 a 150% desta demanda conforme o período monitorado. Diariamente, descartou-se o volume correspondente à demanda de água pluvial através de um ponto de consumo dessa água. Uma versão modificada do algoritmo do programa Netuno foi proposta, onde a principal diferença em relação à versão original é a consideração do consumo de água pluvial antes da chuva. O estudo foi baseado em simulações computacionais para estimar o potencial de economia de água potável com os dados levantados em campo, considerando diferentes intervalos de tempo e as características físicas do sistema. Os resultados das simulações foram comparados à economia de água potável obtida através da utilização de água pluvial, para fins não potáveis, na residência estudada. As demandas médias de água pluvial efetivamente descartadas foram de 279, 293, 607 e 624 litros/dia, respectivamente, do primeiro ao quarto período monitorado. Os resultados do trabalho mostram potenciais de economia de água potável estimados pelo Netuno idênticos às economias obtidas na residência quando se dispõe de água em quantidade suficiente nos reservatórios, para atendimento integral da demanda de água pluvial. Por outro lado, quando não há água pluvial em quantidade suficiente para suprir a demanda, observam-se diferenças absolutas entre os potenciais estimados e as economias efetivas variando de 0,2 a 6,7%, para economias de água potável de 48,7 a 76,2%. A principal conclusão do trabalho é que o algoritmo do programa Netuno prediz adequadamente o potencial de economia de água potável obtido através do aproveitamento de água pluvial em edificações.

Palavras-chave: aproveitamento de água pluvial, dimensionamento de reservatório, validação de algoritmo, simulação computacional.

Abstract

Rainwater use for non-potable purposes in buildings is a measure that provides the reduction of potable water demand and the minimization of problems related to availability of water resources. The efficiency of rainwater harvesting systems is affected mostly by the sizing of the storage cistern. The appropriate sizing is essential to avoid the superfluous room in the cistern when it is oversized; or insufficient room when it is undersized. The main objective of this research is to validate the algorithm of the Neptune computer programme, used to evaluate the potential for potable water savings and the sizing of cisterns for rainwater storage in buildings. Actual potable water and rainwater consumption, rainfall and variation of the water level in the cistern were obtained from an experimental house in Florianópolis. The monitoring of the rainwater harvesting system occurred in four different periods, totalling 196 days. Due to the variation of the house occupation, and also to the low water consumption verified in preliminary tests, it was necessary to increase the demand of rainwater, simulating the constant occupation of four residents. The daily demand of rainwater was taken as a percentage of the potable water demand, which was 150 litres per capita a day. Such a percentage was varied from 40 to 150% of the potable water demand, according to the monitored period. The volume corresponding to the rainwater demand was discarded daily. A modified version of the algorithm of Neptune was proposed, where the main difference in relation to the original version is the consideration of rainwater consumption before the rainfall. The study was based on computer simulations to evaluate the potential for potable water savings considering all data collected on site, considering different time intervals and the physical characteristics of the system. The results of the simulations were compared to the potable water savings obtained by using rainwater for non-potable purposes in the studied house. The average rainwater demands that were discarded were 279, 293, 607 and 624 litres a day, respectively, from the first to the fourth monitored period. The results of the study showed that the potential for potable water savings estimated by Neptune were identical to savings obtained in the house when there was enough rainwater in the cistern to fulfil the demand for rainwater. On the other hand, when there was not enough rainwater to supply the rainwater demand, absolute differences between Neptune results and the effective savings varied from 0.2 to 6.7%, for potable water savings ranging from 48.7 to 76.2%. The main conclusion obtained from the research is that the algorithm of the Neptune computer programme correctly predicts the potential for potable water savings by using rainwater in buildings.

Keywords: rainwater use, cistern sizing, algorithm validation, computer simulation.

1. Introdução

1.1. Caracterização do problema

O crescimento populacional, a industrialização e a expansão da agricultura irrigada vêm ocasionando o aumento da demanda de água e, conseqüentemente, a diminuição de sua disponibilidade (APPAN, 1999a). Contribuem para agravar o problema da escassez, a distribuição desigual dos recursos hídricos, o uso irracional da água e a degradação de sua qualidade.

A falta de água constitui um dos principais elementos de crise no mundo e assola severamente habitantes do oriente médio (AYDIN, 1999; GOODARZI; CHARKHABI, 1999). Na Palestina, por exemplo, o consumo de água diário é de apenas 55 litros *per capita*, quando o mínimo recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) é 100 litros *per capita* (ZAHRA, 2001). Nessa região, um agravante para o problema é o fato de que a maior parte da água disponível em cada país tem sua origem fora de suas fronteiras.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), no final do século passado cerca de 80 países, que abrigam 40% da população mundial, sofriam com a escassez de água (UNEP, 2002). Regiões densamente povoadas localizadas na Ásia ocidental e ao norte da África eram, e ainda são, as áreas mais afetadas no planeta. Nestes lugares, a disponibilidade hídrica é inferior a 1.000m³ *per capita* por ano, valor significativamente inferior à média mundial de 7.000m³ *per capita* por ano (RIJSBERMAN, 2006; UNEP, 2002).

Ocorre que a disponibilidade de água varia muito entre os continentes, países e até mesmo entre as regiões de um mesmo país. A América do Sul possui cerca de 26% da água disponível, mas apenas 6% da população mundial. Por outro lado, a Ásia tem 60% da população, mas somente 36% da água doce do planeta (ANA, 2005a). Em relação ao Brasil, sabe-se que suas reservas correspondem a 12% do total mundial, podendo atingir 18% quando se leva em conta vazões oriundas de territórios estrangeiros, que afluem ao país,

provenientes das bacias Amazônica, do Uruguai e do Paraguai (ANA, 2006). Como a população brasileira representa 2,8% da população mundial (UN, 2005), vislumbra-se uma situação de abundância hídrica no país.

No entanto, ainda que a reserva brasileira de água seja abundante, a disparidade entre disponibilidade hídrica, população e área territorial também se faz presente nas cinco regiões do país, como mostra a Figura 1. Percebe-se que a região norte, que engloba a bacia amazônica, contém 69% da água do país, mas abriga somente 8% da população. Assim, a população restante, ou seja, 92% do total, dispõe de apenas 31% dos recursos hídricos disponíveis. Em oposição à região norte, as regiões sudeste e nordeste (em conjunto) abrigam 71% da população brasileira e dispõem de somente 9% da água doce do país (GHISI, 2006a).

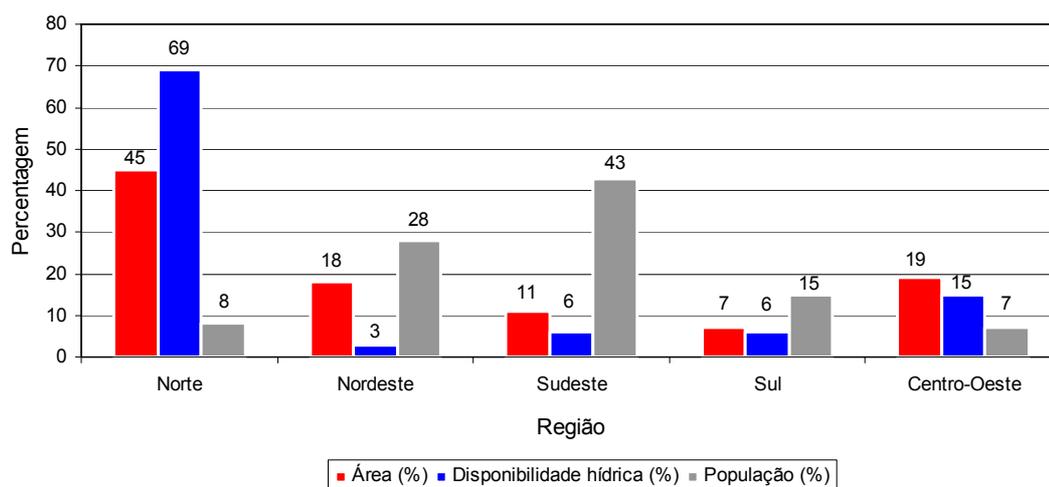


Figura 1. Distribuição percentual da área territorial, disponibilidade hídrica e população nas cinco regiões brasileiras para o ano 2000.

Fonte: GHISI (2006a)

Devido à dificuldade de se avaliar a disponibilidade dos recursos hídricos, algumas pesquisas utilizam indicadores para abordar esse problema (FEITELSON; CHENOWETH, 2002; RIJSBERMAN, 2006). Os indicadores mais utilizados relacionam disponibilidade hídrica e população e indicam, normalmente, a escassez de água para a produção de alimentos e não apenas para fins domésticos (SAVENIJE, 2000). O Programa Ambiental das Nações Unidas (*United Nations Environment Programme - UNEP*) adota a classificação

apresentada na Tabela 1. De acordo com esta classificação, países que possuem menos de 1.000m³ de água *per capita* por ano, possuem disponibilidade hídrica catastróficamente baixa.

Tabela 1. Classificação da disponibilidade hídrica de acordo com UNEP (2002).

Disponibilidade hídrica (m ³ <i>per capita</i> /ano)	Classificação
Maior do que 20.000	Muito alta
10.000-20.000	Alta
5.000-10.000	Média
2.000-5.000	Baixa
1.000-2.000	Muito baixa
Menor do que 1.000	Catastróficamente baixa

Fonte: UNEP (2002)

Ghisi (2006a) avaliou a disponibilidade hídrica das cinco regiões geográficas brasileiras nos anos de 1900 e 2000 e fez estimativas de população e das futuras disponibilidades de água até 2100. Nas estimativas, foi considerada a taxa de crescimento populacional verificada no período 1991-2000, para cada região. A Tabela 2 e a Figura 2 mostram resultados da pesquisa. Verifica-se que tanto em 1900 quanto em 2000, a disponibilidade hídrica brasileira era considerada muito alta de acordo com a classificação da UNEP. No entanto, em 2000, as duas regiões brasileiras mais populosas, sudeste e nordeste, apresentavam disponibilidades baixas e inferiores à média mundial de 7.000m³ *per capita* por ano. Com relação às futuras disponibilidades de água para estas regiões, o pesquisador ressaltou que a partir de 2050, elas serão inferiores a 2.000m³ *per capita* por ano, ou seja, muito baixas; e que a partir de 2094, no sudeste, e 2100, no nordeste, passarão a ser consideradas catastróficamente baixas.

Tabela 2. Disponibilidade hídrica no Brasil.

Região	Disponibilidade hídrica (m ³ <i>per capita</i> /ano)	
	Ano 1900	Ano 2000
Norte	5.708.864	307.603
Nordeste	27.587	3.900
Sudeste	42.715	4.615
Sul	203.396	14.553
Centro-Oeste	2.353.814	75.511
Brasil	328.745	33.762

Fonte: Ghisi (2006a), com base em dados de IBGE (2004) e ANA (2004a)

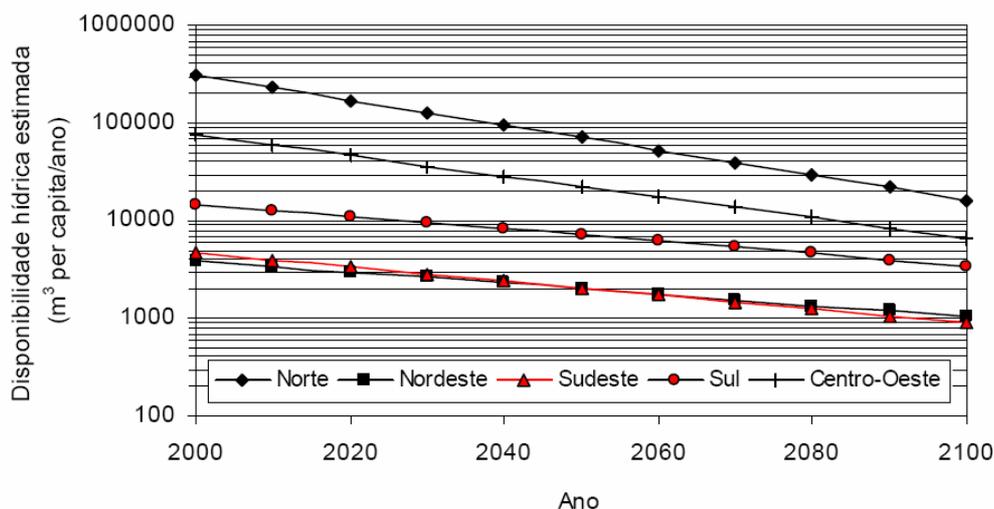


Figura 2. Disponibilidade hídrica estimada por região para o período 2000-2100.

Fonte: GHISI (2006a)

Este contexto, caracterizado pelo crescimento populacional e pela diminuição da disponibilidade hídrica, tem motivado a otimização do uso da água e o estudo de estratégias de abastecimento, como o aproveitamento de água pluvial. As pesquisas realizadas apontam potenciais de economia de água potável significativos e há experiências de uso da água pluvial em vários países para diferentes tipologias de edificações. A água de chuva está sendo utilizada, por exemplo, em residências na Alemanha (HERRMANN; SCHMIDA, 1999), na Austrália (COOMBES et al., 1999), no Reino Unido (FEWKES, 1999a) e no Brasil (HERNANDES et al., 2004; MACIEL et al., 2006), em estádios no Japão (ZAIZEN et al., 1999), em hotéis na China (DENG, 2003), em residências, edifícios de apartamentos e indústrias na Índia (VISHNAWATH, 2005), dentre outros.

As pesquisas sobre aproveitamento de água pluvial evidenciam, na maioria das vezes, aspectos relacionados à qualidade da água da chuva e a viabilidade de implantação de sistemas de captação. Nesses trabalhos, percebe-se que é consenso entre os pesquisadores que o dimensionamento adequado do reservatório de armazenamento de água pluvial é essencial, porque afeta os custos de implantação do sistema de aproveitamento dessa água (COELHO FILHO, 2005; FEWKES; BUTLER, 1999; HERNANDES et al., 2004; MAY; PRADO, 2004). No entanto, poucos trabalhos abordam o dimensionamento do reservatório para armazenamento de água pluvial (APPAN, 1999b;

DOMÍNGUEZ et al., 2001; FEWKES, 1999b; GHISI, 2006b; MARINOSKI et al., 2004). Verifica-se ainda, que em alguns casos faz-se uso de métodos inadequados de dimensionamento ou adota-se o volume do reservatório sem nenhum critério (HANDIA et al., 2003; PIRES et al., 2004).

Ghisi (2006b) investigou a influência da precipitação pluviométrica, área de captação, número de moradores e demandas de água potável e pluvial no dimensionamento de reservatórios para fins de aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares. O estudo foi desenvolvido para três cidades brasileiras, através de simulações computacionais, utilizando o algoritmo do programa Netuno¹. Os resultados obtidos em cerca de 1500 simulações mostraram que todos os parâmetros investigados influenciam no dimensionamento do reservatório de armazenamento de água pluvial. Assim, para cada projeto, deve ser feito um dimensionamento específico. Ao final do estudo, o autor recomendou que o algoritmo utilizado nas análises fosse validado através de experimentos de campo.

Diante do exposto, este trabalho contribui para ampliar o conhecimento sobre o dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água pluvial e, indiretamente, pode contribuir para o projeto de sistemas mais eficientes e viáveis, propiciando assim a difusão do aproveitamento da água pluvial em edificações residenciais.

A pesquisa foi realizada em uma residência localizada na cidade de Florianópolis, denominada Casa Eficiente². Esta edificação é referência nacional em projetos voltados para o desenvolvimento sustentável, servindo de vitrine de conceitos e tecnologias no âmbito da construção civil e de laboratório de pesquisa. A Casa Eficiente possui um sistema de aproveitamento de água pluvial semelhante a outros que vêm sendo implantados em edificações residenciais brasileiras. Nesse sistema, após o desvio de escoamento inicial e

¹ O algoritmo do programa Netuno foi desenvolvido para estimar o potencial de economia de água potável, para um ou mais volumes de reservatório, quando há o aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais.

² A Casa Eficiente é resultado de uma parceria da Eletrosul com a Eletrobrás, por meio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica, e a Universidade Federal de Santa Catarina, onde foram elaboradas soluções inovadoras buscando o uso racional de energia elétrica e água.

descarte de folhas e detritos, a água de chuva é armazenada em reservatórios e posteriormente utilizada para fins não potáveis. A residência possui, também, uma estação meteorológica, hidrômetros e outros instrumentos, que foram utilizados nas medições deste trabalho.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é validar o algoritmo do programa computacional Netuno, utilizado para avaliar o potencial de economia de água potável e o dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial em edificações.

1.2.2. Objetivos específicos

No desenvolvimento desta dissertação, pretende-se atingir os seguintes objetivos específicos:

- Determinar o consumo de água potável e de água pluvial, e o coeficiente de aproveitamento de água pluvial na Casa Eficiente;
- Determinar e analisar o potencial de economia de água potável estimado e a economia de água potável efetivamente obtida na Casa Eficiente;
- Verificar qual intervalo de tempo é mais adequado para estimar o potencial de economia de água potável em função da economia efetivamente obtida;
- Investigar a influência de dados pluviométricos obtidos em outras estações meteorológicas localizadas na região de Florianópolis no potencial de economia de água potável.

1.3. Estrutura da dissertação

Este trabalho encontra-se organizado em cinco capítulos: Introdução, Revisão bibliográfica, Metodologia, Resultados e Conclusões. O primeiro capítulo aborda a caracterização do problema a ser estudado e apresenta os objetivos a serem alcançados.

Na Revisão bibliográfica, são apresentados aspectos relevantes sobre o consumo de água potável no Brasil, usos finais de água no setor residencial de diferentes países, métodos e variáveis envolvidas no dimensionamento do reservatório de armazenamento de água pluvial, além de outros estudos sobre o aproveitamento de água pluvial.

Na Metodologia, são descritos os procedimentos que foram utilizados para a coleta e tratamento de dados na Casa Eficiente, avaliação do potencial e da economia de água potável, avaliação de diferentes índices pluviométricos no potencial de economia de água potável, e verificação do intervalo de tempo mais adequado para estimar esse potencial em estudos sobre o dimensionamento de reservatórios.

No quarto capítulo são apresentados os resultados da validação do algoritmo original do programa Netuno, e também, para uma versão modificada desse algoritmo, conforme parâmetros descritos na metodologia.

As conclusões gerais são expostas no quinto capítulo, juntamente com as limitações deste trabalho e sugestões para estudos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Consumo de água potável no Brasil

Os usos da água podem ser consuntivos, quando implicam na redução da disponibilidade hídrica, ou não consuntivos quando não afetam a sua quantidade. A Agência Nacional de Águas (ANA), com base no Censo Demográfico de 2000 e Agropecuário de 1996, estimou a participação dos principais usos consuntivos de água no Brasil, como mostra a Figura 3.

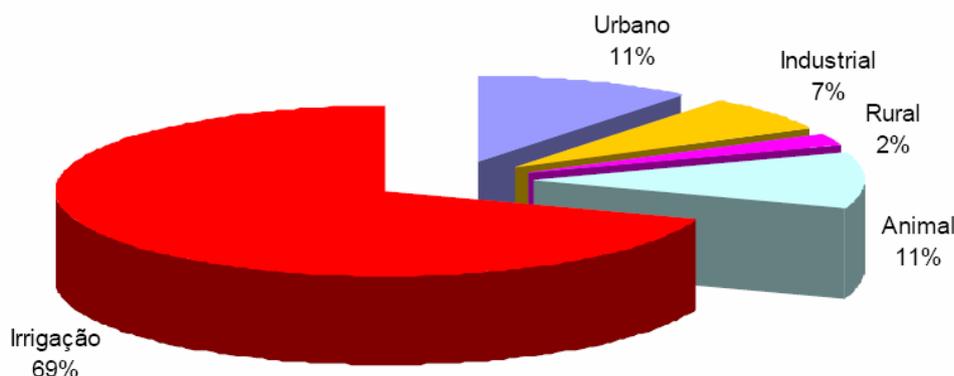


Figura 3. Distribuição dos usos consuntivos de água no Brasil.

Fonte: ANA (2005b)

A agricultura irrigada é responsável pelo maior consumo de água, aproximadamente 69% do total, seguido pelo consumo urbano residencial e pela dessedentação de animais, ambos com 11%, pelo setor industrial com 7%, e pelo abastecimento rural, que representa apenas 2% dos usos consuntivos da água.

Mesmo não sendo objetivo do trabalho avaliar o impacto da expansão da agricultura irrigada na disponibilidade de água, convém destacar que: essa prática é realizada em apenas 5% da área cultivável do país ou aproximadamente 3 milhões de hectares; no período 1950-2000 houve um incremento na área irrigada de aproximadamente 60.000 hectares/ano; a região sul possui 41% da área irrigada atualmente, seguida pela região sudeste com 30%, pelo nordeste com 19% e pelas regiões norte e centro-oeste que

juntas contêm somente 10% da área irrigada (ANA, 2004b). Percebe-se que, assim como ocorre na distribuição da população, as maiores áreas irrigadas concentram-se nas regiões brasileiras de menor disponibilidade hídrica. Estima-se que, caso o incremento ocorrido na irrigação no século passado se repita neste século, em 2050 a demanda de água potável será o dobro da atual. Assim, medidas para promover o uso racional da água na irrigação devem ser tomadas.

O Ministério das Cidades por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) divulga anualmente informações e indicadores sobre os serviços de água e esgoto do Brasil. Segundo dados do SNIS, a população urbana abastecida por água potável atingiu um índice nacional de 96% em 2005. Neste ano, o consumo médio diário do brasileiro foi de 139 litros/dia como mostra a Figura 4, onde pode ser vista, também, a evolução da população abastecida por água e do consumo *per capita* no período 1995-2005. Estas análises foram realizadas com base nas informações de prestadoras de serviço regional; que representam cerca de 75% da população abastecida por água potável no país (SNIS, 2006).

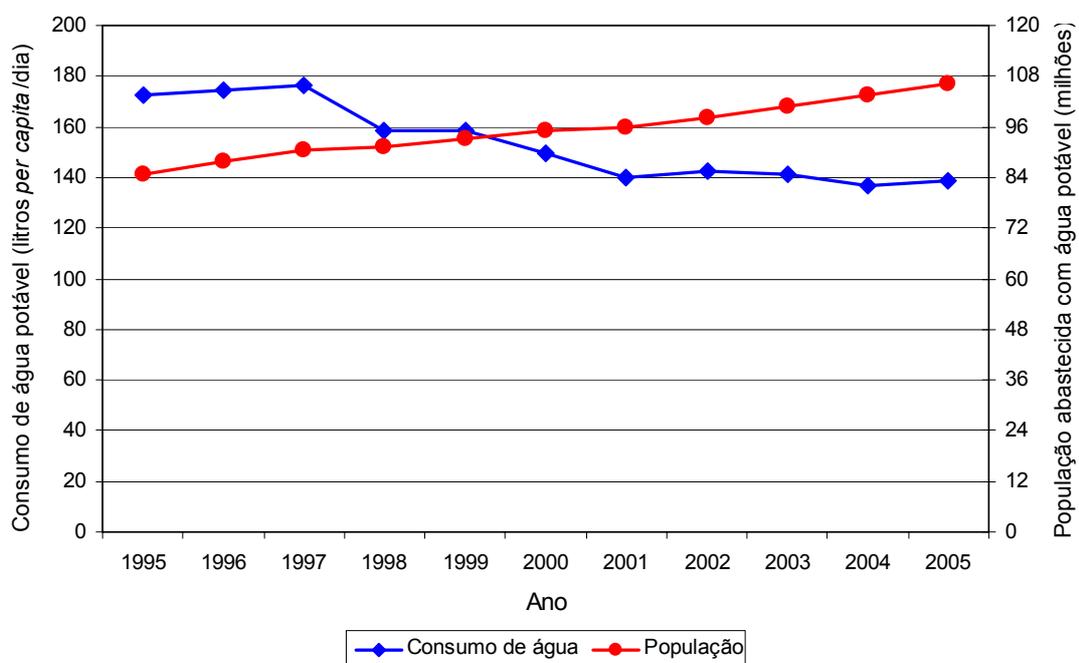


Figura 4. Evolução da população e do consumo de água no Brasil no período 1995-2005.

Fonte: base de dados de SNIS (2007)

Pode-se observar que no período compreendido entre 1995 e 2005 a população atendida por água potável aumentou 25%, passando de 85 para 106 milhões. Neste período, o consumo *per capita* de água diminuiu 20%, passando de 173 para 139 litros/dia. Esta redução no consumo pode estar relacionada com a diminuição da disponibilidade hídrica nas regiões mais populosas. Porém, outros fatores podem estar correlacionados, dentre os quais se destaca o descompasso entre o crescimento da população abastecida com água e a ampliação do volume de água produzido para consumo.

A Figura 5 mostra a evolução do consumo médio *per capita* de água para cada região brasileira. Nas regiões norte, nordeste, sul e centro-oeste, os níveis de consumo de água mantiveram-se relativamente constantes entre 1995 e 2005, dentro de uma faixa de 90 a 150 litros *per capita*/dia. A região sudeste, em oposição às demais regiões, apresentou consumo na ordem de 240 litros *per capita*/dia de 1995 a 1997, seguido de uma abrupta redução entre 1997 e 2001, e mantendo-se aproximadamente estável no período 2001-2005, entre 150 e 180 litros *per capita*/dia. Pode-se perceber que esse comportamento é muito semelhante à evolução do consumo de água no Brasil e pode indicar a elevada influência da região sudeste nos índices de consumo do país.

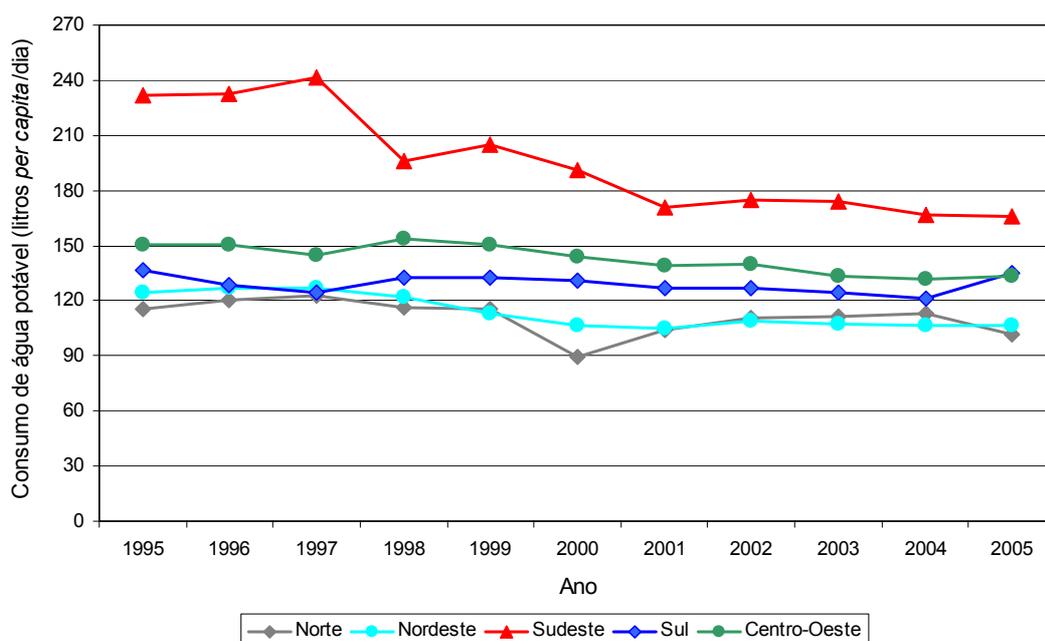


Figura 5. Evolução do consumo de água nas regiões brasileiras no período 1995-2005.

Fonte: base de dados de SNIS (2007)

O consumo de água nos estados brasileiros pode ser visualizado na Tabela 3. O Estado do Rio de Janeiro, em 10 dos 11 anos analisados, destacou-se pelo maior consumo do país chegando a atingir 303 litros *per capita*/dia em 1997. Na direção oposta, o Amazonas, segundo estado de maior disponibilidade hídrica, registrou o menor consumo (18 litros *per capita*/dia) no ano 2000. Nos demais estados, em 2005, o consumo de água ficou abaixo da média em 77% deles e em 5 destes estados, Pará, Ceará, Rio de Janeiro, Minas Gerais e Distrito Federal, registrou o menor valor desde 1995. Os dados apresentados para o Estado do Mato Grosso são referentes ao período 1995-1999.

Tabela 3. Consumo de água potável nos Estados do Brasil no período 1995-2005.

Região	Estado	Consumo (litros <i>per capita</i> /dia)			
		Mínimo	Médio	Máximo	2005
Norte	Roraima	144	166	193	154
	Rondônia	85	132	268	111
	Amapá	139	160	188	162
	Amazonas	18	73	97	70
	Pará	85	111	146	85
	Acre	75	111	136	113
	Tocantins	100	111	128	106
Nordeste	Piauí	73	89	107	90
	Maranhão	113	134	154	122
	Rio Grande do Norte	113	123	131	122
	Ceará	107	125	143	107
	Paraíba	103	113	121	118
	Alagoas	71	106	120	100
	Pernambuco	75	96	148	81
	Sergipe	111	118	131	115
Sudeste	Bahia	112	121	137	114
	Rio de Janeiro	213	251	303	213
	Espírito Santo	187	212	241	193
	Minas Gerais	131	149	170	131
Sul	São Paulo	157	190	257	160
	Santa Catarina	122	135	171	133
	Rio Grande do Sul	112	133	146	146
Centro-Oeste	Paraná	118	124	130	127
	Distrito Federal	176	200	225	176
	Goiás	116	128	139	121
	Mato Grosso	95	121	139	-
	Mato Grosso do Sul	99	115	139	101

Fonte: base de dados de SNIS (2007)

O elevado consumo verificado no Rio de Janeiro, pode ser explicado por exemplo, pelo turismo. Por outro lado, o baixo consumo constatado no

Amazonas é resultado, provavelmente, da inconsistência de dados e também porque o serviço de saneamento de Manaus, onde vivem cerca de 50% da população do estado, é realizado por uma empresa local e, portanto não faz parte desta análise. Logo, caso se desconsidere a participação do Amazonas na relação de consumo de água, os menores consumos *per capita* (mínimo, médio, máximo e em 2005) passam a ser observados em estados do nordeste, região de menor disponibilidade hídrica do país.

A Figura 6 mostra a evolução do consumo de água em Florianópolis e em Santa Catarina. Nessa capital, localiza-se a residência onde foram coletados os dados para o desenvolvimento deste trabalho. É possível observar que o consumo de água de Florianópolis foi sempre superior ao do Estado de Santa Catarina a partir de 2002. Uma das causas prováveis para isto é a grande quantidade de turistas nas temporadas de veraneio. Assim, recomenda-se que no dimensionamento de reservatórios de armazenamento de água pluvial sejam utilizados dados específicos para cada tipologia de edificação em função de sua ocupação.

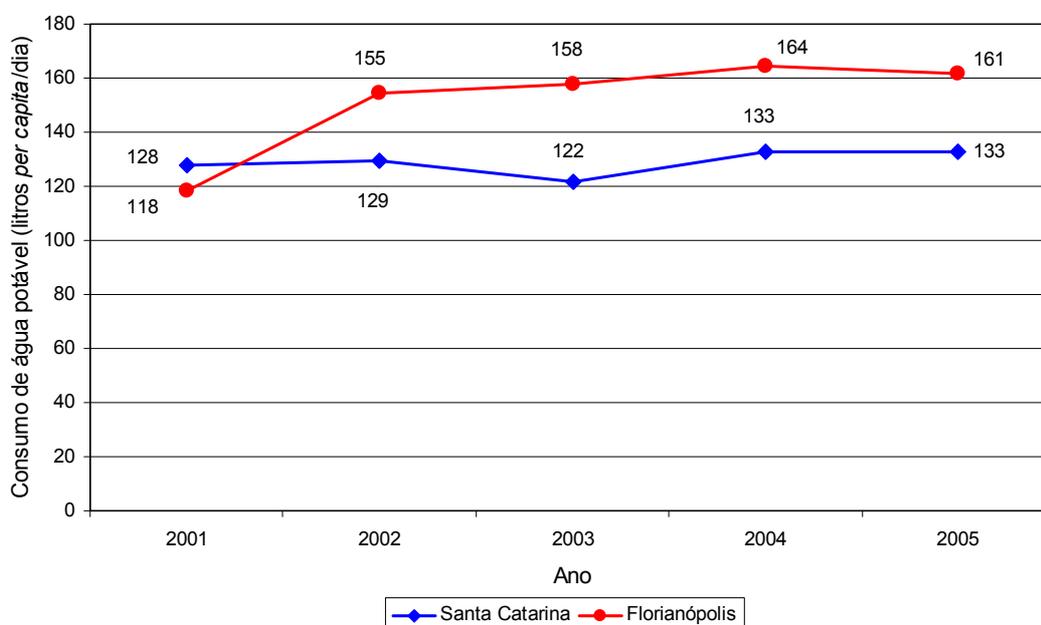


Figura 6. Evolução do consumo de água em Florianópolis e em Santa Catarina no período 2001-2005.

Fonte: base de dados de SNIS (2007)

2.2. Usos finais de água

A análise dos usos finais de água é essencial para determinar a demanda de água pluvial no dimensionamento de sistemas de aproveitamento dessa água. Nas edificações residenciais, esses usos se distribuem em atividades onde a potabilidade da água é indispensável e em fins onde essa condição não é necessária, dentre os quais se destaca a descarga da bacia sanitária e as atividades de limpeza em geral.

A Tabela 4 mostra resultados de alguns estudos sobre o uso final de água no meio residencial em diferentes países. Pode-se perceber que os valores divergem de um país para outro quando se consideram as atividades isoladamente, porém isso não influencia significativamente o consumo total de água utilizada para fins não potáveis nessas edificações, que pode variar de 45% a 55%. Isto indica que a água pluvial poderia ser utilizada para substituir a água potável em alguns usos residenciais, proporcionando economia e colaborando para a conservação dos recursos hídricos.

Tabela 4. Uso final de água potável para consumo doméstico em diferentes países.

Aparelho sanitário/atividade	Uso final por país (%)					
	Dinamarca ¹	Holanda ¹	Alemanha ²	EUA ²	Suíça ³	Colômbia ³
Bacia sanitária*	20	32	27	27	40	40
Banho (chuveiro e/ou banheira)	30	35	36	17	37	30
Lavagem de roupa*	15	19	12	22	4	-
Limpeza de piso, carro e jardim*	10	-	6	-	7	-
Limpeza*	-	-	-	-	-	15
Lavagem de pratos ou louças	20	7	6	2	-	10
Comida e/ou bebida	5	2	4	-	5	-
Cozinha	-	-	-	-	6	5
Vazamentos	-	-	-	14	-	-
Outros	-	5	9	18	1	-
Total	100	100	100	100	100	100
Total não potável (*)	45	51	45	49	51	55

Fonte: adaptado de ¹Tomaz (2000), ²Tomaz (2003) e ³SABESP (2007)

Em outros trabalhos, o percentual de água potável utilizada para finalidades que não necessitam dessa característica também é expressivo. Branvall et al. (1999) apud Villareal e Dixon (2005) indicam que, na Suécia, este percentual corresponde a 45% do consumo total de água (20% na descarga de bacias

sanitárias, 15% na lavagem de roupas e 10% na lavagem de carros e limpeza em geral).

DeOreo et al. (1996) realizaram um estudo sobre usos finais de água em 16 residências localizadas em um único bairro da cidade de Boulder (Colorado - EUA). A análise compreendeu um período de três meses, entre junho e setembro de 1994, e mostrou que do total de água potável utilizada nas residências, 51% corresponde à descarga de bacias sanitárias e a lavagem de roupas, ou seja, finalidades que não necessitam de água potável. Os autores afirmaram que houve grande variabilidade nos resultados obtidos e que por esse motivo não se deve confiar em valores médios de usos finais de água, mesmo quando obtidos em edificações localizadas em pequenas regiões geográficas.

Com relação ao Brasil, as primeiras pesquisas sobre usos finais de água aconteceram na década de 90 e são decorrência de uma parceria entre o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), a Universidade de São Paulo (USP) e a Companhia de Saneamento de São Paulo (SABESP). A Tabela 5 mostra os resultados obtidos para um apartamento da Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbanização (CDHU) de São Paulo. Nota-se que o consumo de água potável utilizada para fins não potáveis é de apenas 19%. Este valor, muito inferior aos dos estudos já realizados, pode ser consequência do padrão de ocupação do imóvel e de aspectos econômicos e sociais dos moradores.

Tabela 5. Uso final de água potável para consumo doméstico em um apartamento da CDHU.

Aparelho sanitário/atividade	Uso final (%)
Bacia sanitária*	5
Chuveiro	55
Lavatório	8
Pia da cozinha	18
Tanque*	3
Máquina de lavar roupa*	11
Total	100
Total não potável (*)	19

Fonte: Brasil (1998)

Mieli (2001) levantou o consumo de água e estimou a participação dos usos finais em 20 residências localizadas no município de Bom Jesus de Itabapoana, RJ. A Tabela 6 apresenta os resultados médios obtidos no estudo e os específicos para as residências 5 e 17, que representam respectivamente, o imóvel de menor e maior percentual de usos finais onde não é necessária a utilização de água potável. Pode-se verificar que o consumo de água para fins não potáveis representa de 44,3% a 55,0% do total consumido nessas edificações.

Tabela 6. Uso final de água potável para consumo doméstico em residências localizadas em Bom Jesus de Itabapoana, RJ.

Aparelho sanitário/atividade	Uso final (%)		
	Residência 5	Residência 17	Média
Bacia sanitária*	32,3	39,4	34,5
Banho	27,2	24,2	27,0
Lavatório	8,1	6,0	6,2
Máquina de lavar roupas*	6,3	9,5	6,9
Cozinha	18,8	13,9	17,2
Tanque*	3,6	3,2	3,9
Lavagem de pisos*	1,1	1,2	1,2
Jardim*	1,1	1,2	1,0
Lavagem de carro*	0,0	0,5	0,7
Beber e cozinhar	1,6	1,0	1,5
Total	100,0	100,0	100,0
Total não potável (*)	44,3	55,0	48,1

Fonte: base de dados de Mieli (2001)

Ainda em relação ao estudo realizado em Bom Jesus de Itabapoana, verificou-se a variabilidade dos usos finais de água potável para fins não potáveis como mostra a Figura 7. No caso da bacia sanitária, o menor consumo encontrado representa 26% do consumo total de água da residência, enquanto que o maior equivale a 39%. Nos demais usos que não necessitam de água potável, a diferença entre o menor e o maior valor encontrado é superior a 50%.

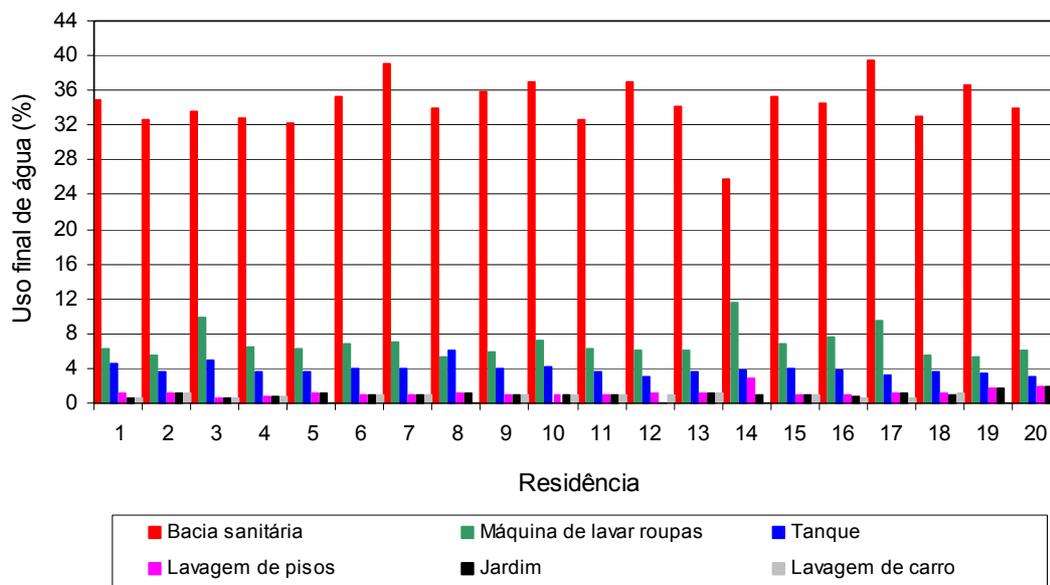


Figura 7. Variação do uso final de água potável para fins não potáveis em residências localizadas em Bom Jesus de Itabapoana, RJ.

Fonte: base de dados de Mieli (2001)

Fiori (2005) apresenta uma avaliação quantitativa do potencial de reúso de água cinza em edifícios localizados na cidade de Passo Fundo, RS. Para esta avaliação foram obtidos os usos finais de água em oito tipologias de apartamentos, estabelecidas em função dos aparelhos sanitários que os imóveis possuíam, além dos cinco básicos como o chuveiro, a pia da cozinha, o lavatório, o tanque e a bacia sanitária. Desse modo, o apartamento do tipo 1 possui todos os aparelhos sanitários considerados na análise, e o apartamento do tipo 8, somente os cinco considerados básicos. Dezesesseis apartamentos foram analisados, sendo que em oito deles o volume de descarga da bacia sanitária era de 6 litros e nos demais igual a 12 litros. Os resultados do estudo são apresentados nas Tabelas 7 e 8.

Verifica-se que: em ambos os casos, as tipologias 4 e 5 são as que apresentam maior percentual de usos finais onde não é necessária água potável; os apartamentos sem máquina de lavar roupa são os que utilizam menos água para fins não potáveis (tipologias 3, 6, 7 e 8); o consumo médio de água para fins não potáveis corresponde em média a 33% para os apartamentos da Tabela 7 e a 27% para os apartamentos da Tabela 8. Percebe-se, portanto, que a adoção de bacias sanitárias de volume de

descarga reduzido gera uma redução no consumo de água para fins não potáveis, porém, ainda assim, seria possível substituir de 19% a 35% da água potável utilizada nesses apartamentos por água pluvial.

Tabela 7. Uso final de água potável para consumo doméstico em apartamentos com bacia sanitária de 12 litros/descarga localizados em Passo Fundo, RS.

Aparelho sanitário/atividade	Uso final por tipologia de apartamento (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Chuveiro	31	31	37	32	33	39	37	40
Máquina de lavar roupa*	17	17	-	17	18	-	-	-
Pia da cozinha	16	16	19	17	17	20	20	21
Lavatório	9	10	11	10	10	12	12	12
Banheira	5	5	6	-	-	-	6	-
Tanque*	7	7	9	8	8	9	9	9
Máquina de lavar louça	2	-	2	2	-	2	-	-
Bacia sanitária*	14	14	17	15	15	18	17	18
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
Total não potável (*)	38	38	26	40	41	27	26	27

Fonte: base de dados de Fiori (2005)

Tabela 8. Uso final de água potável para consumo doméstico em apartamentos com bacia sanitária de 6 litros/descarga localizados em Passo Fundo, RS.

Aparelho sanitário/atividade	Uso final por tipologia de apartamento (%)							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Chuveiro	33	34	40	35	35	43	41	43
Máquina de lavar roupa*	18	18	-	19	19	-	-	-
Pia da cozinha	17	18	21	18	19	22	22	23
Lavatório	10	10	12	11	11	13	13	13
Banheira	5	5	6	-	-	-	6	-
Tanque*	8	8	10	8	8	10	10	10
Máquina de lavar louça	2	-	2	2	-	2	-	-
Bacia sanitária*	8	8	9	8	8	10	9	10
Total	100	100	100	100	100	100	100	100
Total não potável (*)	34	34	19	35	35	20	19	20

Fonte: base de dados de Fiori (2005)

Na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), alguns estudos sobre usos finais de água potável em edificações também vêm sendo realizados. Nesses trabalhos, de maneira geral, percebe-se que é possível substituir por água pluvial mais de 30% da água potável utilizada nas edificações.

Santana (2004) determinou os usos finais de água em um condomínio residencial localizado no bairro Serrinha, em Florianópolis. Os resultados da

pesquisa apontaram que apenas 19% do consumo de água do condomínio é destinado para fins não potáveis, como mostra a Tabela 9.

Tabela 9. Uso final de água potável para consumo doméstico em um condomínio residencial localizado no bairro Serrinha em Florianópolis, SC.

Aparelho sanitário/atividade	Uso final (%)
Bacia sanitária*	14
Banho	68
Lavatório	3
Cozinha	10
Lavagem de roupa e limpeza*	5
Total	100
Total não potável (*)	19

Fonte: Santana (2004)

Ghisi e Ferreira (2007) também estimaram os usos finais de água em um condomínio residencial, composto por três blocos, localizado no bairro Trindade, em Florianópolis. Verificou-se que os usos finais de água, nos quais não se necessita água potável, variou de 39,2% a 42,7%, com média de 40,8% para o condomínio. A Tabela 10 apresenta os diferentes usos finais de água potável para cada bloco.

Tabela 10. Uso final de água potável para consumo doméstico em um condomínio residencial localizado no bairro Trindade em Florianópolis, SC.

Aparelho sanitário/atividade	Uso final (%)			
	Bloco A	Bloco B	Bloco C	Média
Bacia sanitária*	35,1	29,7	34,8	33,2
Lavagem de louça	33,6	12,1	14,0	19,9
Chuveiro	16,2	23,2	28,6	22,6
Lavatório	10,5	23,4	14,0	16,0
Lavagem de roupa*	2,0	5,9	6,0	4,7
Limpeza*	2,1	4,5	1,9	2,9
Cocção	0,4	1,2	0,7	0,8
Total	100,0	100,0	100,0	100,0
Total não potável (*)	39,2	40,1	42,7	40,8

Fonte: Ghisi e Ferreira (2007)

Em um estudo realizado em duas residências localizadas no município de Palhoça, SC, verificou-se que os usos finais sem necessidade de água potável foram de 33,8% e 36,6%, como apresenta a Tabela 11 (GHISI; OLIVEIRA, 2007).

Tabela 11. Uso final de água potável para consumo doméstico em duas residências localizadas em Palhoça, SC.

Aparelho sanitário/atividade	Uso final (%)	
	Residência A	Residência B
Bacia Sanitária*	30,4	25,6
Pia da Cozinha	28,0	13,5
Chuveiro	32,8	45,6
Lavatório	1,9	2,6
Barba	0,8	4,4
Lavagem de roupa*	6,2	8,2
Total	100,0	100,0
Total não potável (*)	36,6	33,8

Fonte: Ghisi e Oliveira (2007)

Peters (2006) também estabeleceu os usos finais de água potável em uma residência localizada no bairro Ratonos, em Florianópolis. O imóvel avaliado era de baixo padrão construtivo e o monitoramento foi realizado durante 12 meses, de janeiro a dezembro de 2005. Constatou-se que a bacia sanitária e o tanque de lavar roupas, representam 49% do consumo total de água da edificação como mostram os valores da Tabela 12.

Tabela 12. Uso final de água potável para consumo doméstico em uma residência localizada no bairro Ratonos em Florianópolis, SC.

Aparelho sanitário/atividade	Uso final (%)
Bacia sanitária*	22
Chuveiro e lavatório	33
Tanque*	27
Pia da cozinha	18
Total	100
Total não potável (*)	49

Fonte: Peters (2006)

Kammers (2007) estimou os usos finais de água potável em um edifício residencial localizado no bairro Floresta em São José, SC, cujos resultados obtidos estão apresentados na Tabela 13. Verificou-se que, assim como ocorre em outras edificações residenciais, mais de 30% da água potável utilizada para determinadas finalidades poderia ser substituída por água pluvial.

Tabela 13. Uso final de água potável para consumo doméstico em um edifício localizado no bairro Floresta em São José, SC.

Aparelho sanitário/atividade	Uso final (%)
Chuveiro	46,5
Tanque/ máquina de lavar roupas*	16,4
Pia da cozinha	13,6
Bacia sanitária*	18,3
Lavatório	3,2
Limpeza*	1,9
Rega jardim*	0,1
Total	100
Total não potável (*)	36,7

Fonte: Kammers (2007)

A partir dos levantamentos apresentados anteriormente é possível notar um elevado índice de uso de água potável para fins que não necessitam especificamente de água com essa característica. Isto indica que a utilização de água pluvial para fins não potáveis em edificações residenciais poderia proporcionar economias significativas de água potável.

Percebe-se também que fatores como a região de localização da edificação, dispositivos hidráulicos utilizados e aspectos culturais e sócio-econômicos dos moradores podem influenciar os usos finais de água potável. Portanto, na ausência de dados específicos de usos finais de água, é recomendável que se efetue um levantamento prévio para subsidiar o projeto de aproveitamento da água pluvial.

2.3. Dimensionamento de reservatórios

2.3.1. Variáveis envolvidas

O dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial em residências é influenciado pela precipitação pluviométrica local, área de captação, número de moradores da edificação e demandas de água potável e pluvial (GHISI, 2006b). Além dessas variáveis, deve ser considerado um coeficiente que expresse as perdas no volume captado de água pluvial e no descarte de filtros e equipamentos instalados no sistema de aproveitamento.

2.3.1.1. Precipitação pluviométrica

A quantidade e a distribuição temporal da precipitação pluviométrica são aspectos de fundamental importância no dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial (LIAW; TSAI, 2004; WAWERU, 1999).

Quanto mais regulares e bem distribuídas são as chuvas ao longo do tempo menor é o volume necessário para o reservatório de água pluvial. Fewkes e Butler (1999) apontam como vantagens para reservatórios de volume reduzido a fácil integração com a estrutura da edificação, o menor custo de implantação e a retenção da água pluvial por pouco tempo no reservatório de armazenamento.

A maioria dos métodos de dimensionamento de reservatórios para fins de aproveitamento de água pluvial considera, separadamente ou em conjunto, a duração de períodos chuvosos, de períodos secos e a quantidade da precipitação pluviométrica ao longo de séries históricas. Os dados de entrada utilizados nas análises são baseados em intervalos de tempo horário, diário ou mensal, em função de sua disponibilidade e do processo de cálculo de cada método.

Schiller e Latham (1982a) apud Coelho Filho (2005) sugerem a utilização de séries de precipitação de pelo menos 10 anos para estabelecer o potencial de suprimento de água pluvial em determinadas regiões. No entanto, sabe-se que para condições específicas de demanda de água potável e não potável é possível utilizar séries curtas de dados pluviométricos em estudos sobre o aproveitamento de água pluvial.

Cardoso (2006) avaliou o período mínimo de anos de precipitações pluviométricas que deve ser considerado em estudos sobre o potencial de economia de água potável através do aproveitamento de água pluvial. Análises foram realizadas para a cidade de Santa Bárbara do Oeste, Estado de São Paulo, por meio de simulações computacionais com o algoritmo do programa Netuno. Utilizando-se a série histórica de precipitações do município, que

compreende 36 anos, verificou-se a influência de períodos mais curtos de dados pluviométricos no potencial de economia de água potável para volumes de reservatórios de 1.000 a 70.000 litros. Considerou-se diferentes áreas de captação e demandas de água potável e pluvial, o que originou dados de entrada e resultados para quatro casos distintos como apresentam as Tabelas 14 e 15.

Tabela 14. Dados de entrada utilizados para determinar o período mínimo de anos de dados pluviométricos em estudos sobre o potencial de economia de água potável.

Dados de entrada	Caso A	Caso B	Caso C	Caso D
Demanda de água potável (litros <i>per capita</i> /dia)	158	158	316	316
Número de moradores	4	4	4	4
Área de captação (m ²)	100	200	100	200
Coeficiente de aproveitamento de água pluvial	0,8	0,8	0,8	0,8
Demanda de água pluvial (% da demanda de água potável)	10 a 100	10 a 100	10 a 100	10 a 100

Fonte: adaptado de Cardoso (2006)

O período mínimo de precipitações pluviométricas para os casos analisados variou de 1 a 13 anos, como mostra a Tabela 15. Constatou-se também que, para demandas de água pluvial mais prováveis de serem encontradas em residências unifamiliares, ou seja, entre 30% e 50% da demanda de água potável, o número mínimo de anos apresentou-se próximo para os quatro casos. Concluiu-se que os resultados obtidos para os potenciais de economia de água potável para períodos curtos apresentaram-se muito próximos dos resultados obtidos para a série histórica, sendo possível a utilização de séries curtas de precipitações em estudos sobre o aproveitamento de água pluvial.

Tabela 15. Período mínimo de anos de dados pluviométricos em estudos sobre o potencial de economia de água potável.

Demanda de água pluvial (% da demanda de água potável)	Número mínimo de anos			
	Caso A	Caso B	Caso C	Caso D
10	1	1	1	1
20	2	2	2	2
30	2	2	4	2
40	5	4	4	4
50	6	5	4	5
60	7	5	4	6
70	7	6	4	6
80	7	8	4	6
90	7	12	4	7
100	7	13	4	7

Fonte: Cardoso (2006)

O Brasil, em virtude de suas dimensões continentais, possui uma diversificação climática ampla, influenciada por sua configuração geográfica, sua significativa extensão costeira, seu relevo e a dinâmica das massas de ar sobre seu território. Este último fator assume grande importância, pois atua diretamente sobre os índices pluviométricos nas diferentes regiões do país (ANA, 2006).

A precipitação pluviométrica anual média no Brasil é de 1.797mm, variando de 550mm, na região semi-árida do Nordeste, a mais de 2.500mm na Amazônia, como mostra a Figura 8 (ANA, 2005b). Apesar do significativo volume de precipitação pluviométrica em algumas regiões brasileiras, a sazonalidade na ocorrência das chuvas pode influenciar o dimensionamento de reservatórios para fins de aproveitamento de água pluvial.

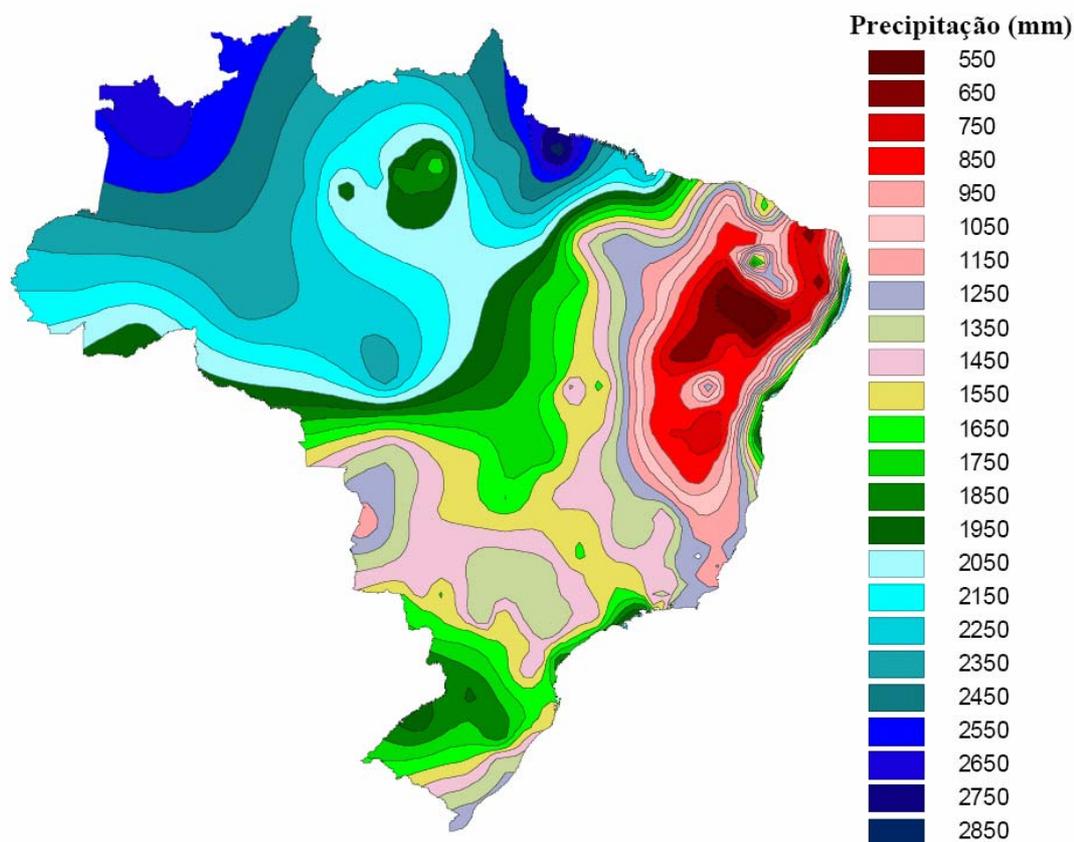


Figura 8. Precipitação pluviométrica anual média no Brasil no período 1961-1990.

Fonte: ANA (2005b)

O município de Florianópolis apresenta precipitação anual média de 1.704mm de acordo com dados da estação climatológica principal da cidade fornecidos

pele Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e publicados em Peters (2006). A série histórica de precipitações mensais analisada compreende o período de 1970 a 2005. O ano de menor precipitação é 1988, com 1.045mm, e o de maior é 1983 com 2.599mm. Dos 36 anos analisados, 20 anos apresentam volume precipitado menor que a média anual e 29 anos acima de 1.500mm por ano, como mostra a Figura 9. Vale ressaltar que de acordo com as normais climatológicas a precipitação média anual de Florianópolis é de 1.544mm para o período 1961-1990 (BRASIL, 1992).

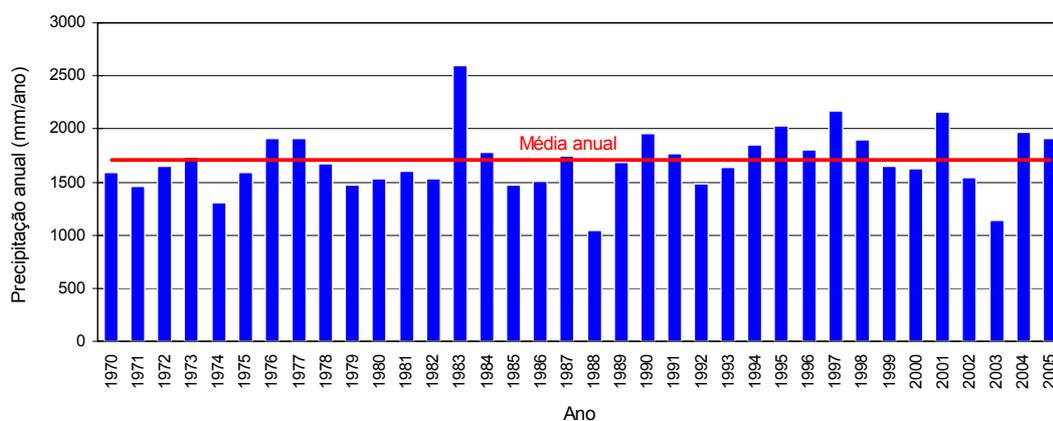


Figura 9. Precipitação pluviométrica anual de Florianópolis no período 1970-2005.

Fonte: Peters (2006), com base em dados de INMET (2006)

A Figura 10 mostra a precipitação mensal média de Florianópolis no período 1970-2005. Pode-se observar que as maiores precipitações ocorrem de janeiro a março, superando 180mm/mês; e as menores, de abril a agosto, atingindo cerca de 100mm/mês. O mês de junho é o menos chuvoso, com média de 79mm, e o mês de janeiro é o mais chuvoso com média de 219mm. Percebe-se que apesar de não haver uma estação seca na cidade, há irregularidades na distribuição mensal das chuvas que podem diminuir a eficiência de sistemas de aproveitamento dessas águas.

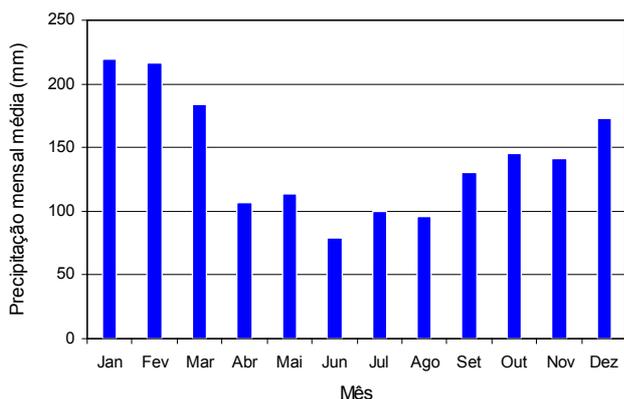


Figura 10. Precipitação pluviométrica mensal média de Florianópolis no período 1970-2005.

Fonte: Peters (2006), com base em dados de INMET (2006)

Conforme mencionado anteriormente, quanto mais regulares e bem distribuídas são as chuvas ao longo do tempo menor é o volume necessário para o reservatório de água pluvial. Desse modo, a ocorrência de chuvas intensas e de períodos de estiagem prolongados também pode diminuir a eficiência de sistemas de aproveitamento ou até mesmo inviabilizar a utilização da água pluvial em residências. As Figuras 11 e 12 mostram, respectivamente, dados diários de precipitação pluviométrica e o número médio de dias consecutivos sem chuva para um período de 3 anos em Florianópolis.

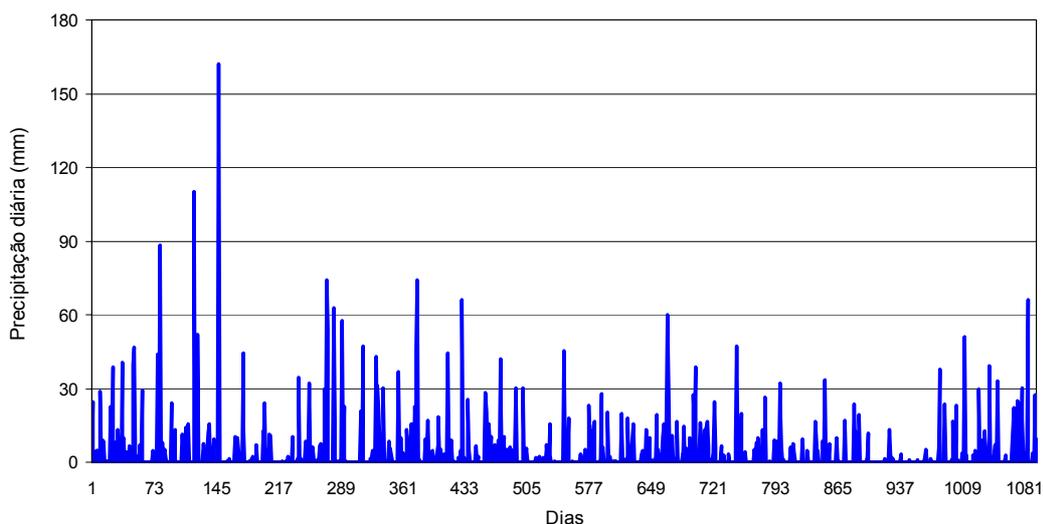


Figura 11. Precipitação pluviométrica diária de Florianópolis no período 2001-2003.

Fonte: base de dados de Ghisi e Três (2004)

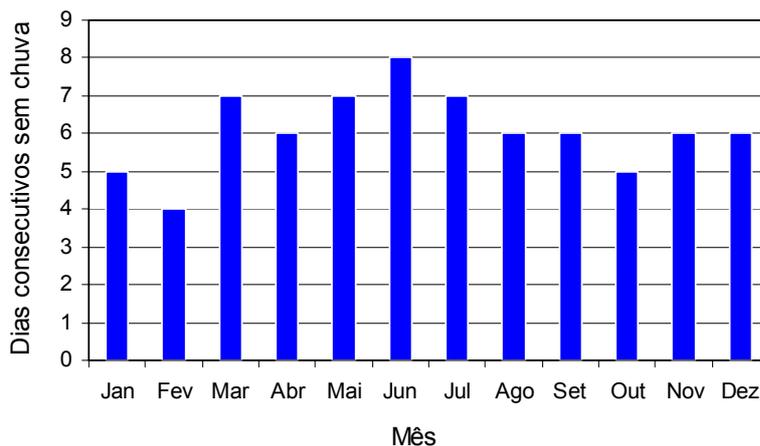


Figura 12. Número médio de dias consecutivos sem chuva em Florianópolis no período 2001-2003.

Fonte: base de dados de Ghisi e Três (2004)

Analisando os dados da Figura 11, verificou-se que a precipitação pluviométrica em Florianópolis foi de 2.023mm em 2001, 1.594mm em 2002 e de 1.143mm em 2003 (GHISI; TRÉS, 2004). Nesses anos constatou-se a ocorrência de 478 eventos diários de chuva, o que equivale a uma precipitação média de 10mm por evento. Cerca de 70% das ocorrências registradas mantiveram-se abaixo dessa média e em somente 3 casos, destacaram-se por representarem mais de 25% do volume precipitado no mês em apenas um dia.

Apesar da existência de irregularidades na distribuição mensal das chuvas e de ocorrências de elevada pluviosidade, verificou-se que o período entre uma chuva e outra é de aproximadamente 6 dias no município de Florianópolis, como mostra a Figura 12.

Diante do exposto, torna-se necessário analisar o comportamento de pequenos reservatórios em função do regime pluviométrico, a fim de viabilizar a implantação e operação de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

2.3.3.2. Coeficiente de aproveitamento de água pluvial

O volume de água pluvial que pode ser aproveitado é, na maioria das vezes, menor que o volume precipitado em uma determinada área de captação. Isto ocorre devido a perdas por absorção e evaporação, quando a água atinge a

superfície de captação, e também, pelo descarte inicial de cada precipitação, como forma de eliminar impurezas e resíduos indesejáveis na água pluvial. Para representar estas perdas, deve ser adotado um coeficiente redutor no cálculo do volume aproveitável de água pluvial, como mostra a Eq. 2.1.

$$V_{ap} = P \times A \times C_p \quad (2.1)$$

Onde:

V_{ap} é o volume aproveitável de água pluvial no intervalo de tempo considerado (litros);

P é a precipitação pluviométrica da localidade no intervalo de tempo considerado (mm = litros/m²);

A é a área de captação (m²);

C_p é o coeficiente de aproveitamento de água pluvial (adimensional).

O coeficiente de aproveitamento pode ser definido em função do coeficiente de escoamento superficial da área de captação, também conhecido como coeficiente de runoff, e pela eficiência do sistema de captação (ABNT, 2007), conforme indica a Eq. 2.2.

$$C_p = C \times \eta_{fc} \quad (2.2)$$

Onde:

C_p é o coeficiente de aproveitamento de água pluvial (adimensional);

C é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

η_{fc} é a eficiência do sistema de captação, levando-se em conta o descarte dos dispositivos instalados no sistema e o desvio de escoamento inicial (adimensional).

Pacey e Cullis (1996) apud Tomaz (2003) consideram como boa estimativa, um coeficiente de escoamento superficial igual a 0,80 para representar perdas de 20% no volume de água pluvial precipitado. No entanto, diversos autores sugerem valores em função do tipo de material da superfície de captação (HAUGHT e WYCKOFF, 2006; KHAN, 1995; WATERFALL, 2004), como mostra a Tabela 16.

Tabela 16. Coeficiente de escoamento superficial para diferentes materiais da superfície de captação.

Material	Coeficiente	Fonte
Telha cerâmica	0,80 a 0,90	Frasier (1975) e Hofkes (1981) apud May (2004)
	0,75 a 0,90	Vaes e Berlamont (1999) apud May (2004)
	0,56	Khan (1995)
	0,60	Haught e Wyckoff (2006)
Telha metálica	0,70 a 0,90	Frasier (1975) e Hofkes (1981) apud May (2004)
	0,90 a 0,95	Waterfall (2004)
	0,85	Khan (1995)
Telha esmaltada	0,90 a 0,95	Vaes e Berlamont (1999) apud May (2004)
	0,85	Haught e Wyckoff (2006)
Telha de amianto	0,80 a 0,90	DTU (2002)
Telhado de palha	0,39	Khan (1995)
Telhado verde	0,27	Khan (2001) apud Tomaz (2003)
Alumínio	0,85	Haught e Wyckoff (2006)
Plástico	0,94	Khan (2001) apud Tomaz (2003)
Placa de pedra	0,80	Khan (1995)

No Brasil, não há valores divulgados para os materiais que compõem as coberturas das edificações. Verificou-se que, na maioria das vezes, é adotado um coeficiente de escoamento superficial sem levar em consideração o material da área de captação. Constatou-se ainda que, independentemente do método utilizado para o dimensionamento do reservatório para fins de aproveitamento de água pluvial, são utilizados coeficientes que variam de 0,80 a 0,90, como pode ser visto em Hernandez et al. (2004), Coelho Filho (2005), Werneck (2006), Ghisi e Ferreira (2007), entre outros.

2.3.2. Métodos de dimensionamento

Encontra-se na literatura especializada, uma série de métodos que vêm sendo utilizados no dimensionamento de reservatórios de armazenamento de água pluvial. De forma geral, os métodos existentes são classificados em função das variáveis de entrada necessárias, do processo de cálculo envolvido, da facilidade de aplicação e da confiabilidade dos resultados obtidos.

McMahon e Mein (1978) apud Fewkes (1999b) classificam os métodos de dimensionamento em três tipos genéricos, quais sejam: Moran, período crítico e modelos comportamentais.

O método desenvolvido por Moran (1959) baseia-se em um sistema de equações simultâneas que relacionam o volume do reservatório com um conjunto de outras variáveis, dentre as quais a demanda de água. Já os modelos baseados no período crítico, tais como o método de Rippl, utilizam sequências de escoamentos em que a demanda de água pluvial excede o volume captado para determinar a capacidade do reservatório.

Modelos comportamentais simulam a operação do reservatório de armazenamento de água pluvial ao longo do tempo, sob determinadas condições de operação, através de um algoritmo que descreve o funcionamento do sistema de aproveitamento de água pluvial (FEWKES, 1999b).

Além dos modelos classificados por McMahon e Mein (1978), verifica-se que existem métodos gráficos, estatísticos e empíricos. No entanto, a simulação do funcionamento do reservatório de armazenamento de água pluvial é uma das técnicas mais difundidas, como mostram trabalhos realizados nos Estados Unidos (JENKINS et al., 1978), no Canadá (SCHILLER; LATHAM, 1982b), no México (DOMÍNGUEZ et al., 2001), no Reino Unido (ROEBUCK; ASHLEY, 2006), em Singapura (APPAN, 1999b) e no Brasil (GHISI et al., 2007).

2.3.2.1. Modelos comportamentais

A maioria dos modelos comportamentais adota o princípio de transferência de massa para prever a operação do reservatório de armazenamento de água pluvial, como mostra a Figura 13 (ROEBUCK; ASHLEY, 2006). A partir desse princípio, e considerando também o balanço hídrico do sistema, uma ou mais equações são desenvolvidas para simular o funcionamento do reservatório frente a um conjunto de variáveis.

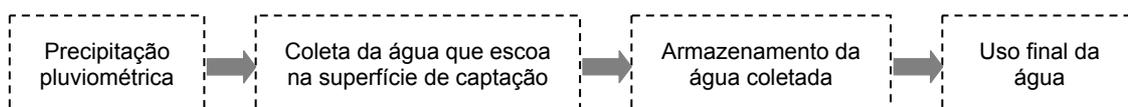


Figura 13. Princípio de transferência de massa.

Fonte: adaptado de Roebuck e Ashley (2006)

A modelagem de sistemas de aproveitamento de água pluvial pode assumir a configuração básica ilustrada na Figura 14; em função da área de captação - A (m^2) e da capacidade de armazenamento do reservatório - S (m^3).

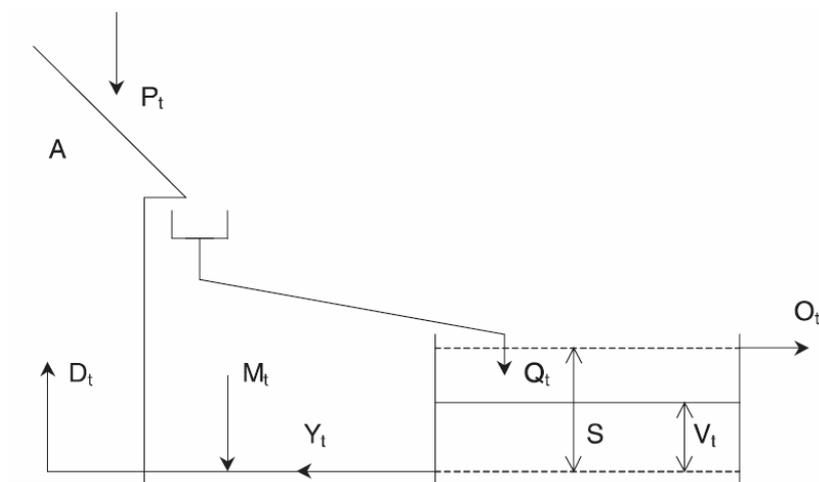


Figura 14. Configuração básica de um sistema de aproveitamento de água pluvial.

Fonte: adaptado de Fewkes (1999b)

Na Figura 14, no intervalo de tempo t , tem-se:

- P_t é precipitação pluviométrica (m);
- Q_t é o volume de água de chuva escoado (m^3);
- M_t é o suprimento da rede de abastecimento (m^3);
- O_t é o volume extravasado do reservatório (m^3);
- V_t é o volume no reservatório (m^3);
- Y_t é o volume consumido ou retirado do reservatório (m^3);
- D_t é a demanda de água pluvial (m^3);

Entre os modelos comportamentais conhecidos, destaca-se o desenvolvido por Jenkins et al. (1978); objeto de estudo de alguns pesquisadores como Schiller e Lathan (1982b), Chowdhury et al. (1987), Fewkes e Frampton (1993), Fewkes (1999b), Liaw e Tsai (2004) e Anecchini (2005).

Jenkins et al. (1978) apud Fewkes (1999b) identificaram dois algoritmos para descrever a operação de armazenamento de água pluvial no reservatório. Um dos algoritmos considera o armazenamento após o consumo (*yield after storage* - YAS), como mostram as Eq. 2.3 e 2.4, e outro considera o

armazenamento antes do consumo (*yield before storage* - YBS), como mostram as Eq. 2.5 e 2.6.

$$Y_t = \min \begin{cases} D_t \\ V_{t-1} \end{cases} \quad (2.3)$$

$$V_t = \min \begin{cases} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S - Y_t \end{cases} \quad (2.4)$$

$$Y_t = \min \begin{cases} D_t \\ V_{t-1} + Q_t \end{cases} \quad (2.5)$$

$$V_t = \min \begin{cases} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S \end{cases} \quad (2.6)$$

As variáveis apresentadas nas Eq. 2.3 a 2.6 obedecem a mesma correspondência das variáveis ilustradas na Figura 14. Nessas equações, deve ser adotado sempre o menor dos dois valores encontrados.

Originalmente, o modelo proposto por Jenkins et al. (1978) foi concebido e utilizado para intervalo de tempo mensal. Quando se considerava o algoritmo YAS, o consumo (Y_t) para cada mês era limitado à quantidade inicial de água armazenada (V_{t-1}). Porém, no cálculo do volume no reservatório (V_t), através da Eq. 2.4, não se admitia a hipótese do reservatório estar cheio após a chuva. Semelhante, quando o algoritmo considerado era o YBS, admitia-se a hipótese do reservatório estar cheio, mesmo após a retirada de água para consumo. Essas limitações levaram alguns autores a classificar o modelo de Jenkins como conservador (CHOWDHURY et al., 1987; SCHILLER; LATHAM, 1982b).

Em um outro trabalho, Latham (1983) apud Fewkes (1999b) usou um parâmetro (θ) para generalizar o modelo desenvolvido por Jenkins et al. (1978), como mostram as Eq. 2.7 e 2.8.

$$Y_t = \min \begin{cases} D_t \\ V_{t-1} + \theta Q_t \end{cases} \quad (2.7)$$

$$V_t = \min \begin{cases} (V_{t-1} + Q_t - \theta Y_t) - (1 - \theta) Y_t \\ S - (1 - \theta) Y_t \end{cases} \quad (2.8)$$

Onde, θ é um parâmetro entre 0 e 1. Utilizando $\theta = 0$ o modelo reproduz o algoritmo YAS, por outro lado, com $\theta = 1$ o modelo reproduzirá o algoritmo YBS.

Appan (1982) também formulou um modelo para verificação do comportamento de reservatórios para armazenamento de água pluvial em edificações. O algoritmo permite a utilização de precipitação pluviométrica, demanda de água pluvial e perdas por evaporação e absorção em qualquer intervalo de tempo i , como mostra a Eq. 2.9.

$$Q_i = (A \times r_i) - \{(E_i + b_i) \times A + D_i\} \quad (2.9)$$

Onde:

Q_i é o volume de água disponível no reservatório (m^3);

A é a área de captação (m^2);

r_i é a precipitação pluviométrica (m);

E_i é a evaporação (m);

b_i é a absorção (m);

D_i é a demanda de água pluvial (m^3).

O modelo deve ser aplicado para volumes de armazenamento determinados pelo projetista e a cisterna estará, respectivamente, vazia ou transbordando de acordo com o resultado obtido através da Eq. 2.10.

$$(A \times r_i) < \{(E_i + b_i) \times A + D_i\} \quad \text{ou} \quad (A \times r_i) > \{(E_i + b_i) \times A + D_i\} \quad (2.10)$$

Appan (1999b) utilizou o algoritmo apresentado para determinar o volume de reservatório a ser utilizado na Universidade Tecnológica de Nanyang, em Singapura. Nas simulações, foram empregados dados de entrada em base

diária, para diferentes volumes de armazenamento e percentuais de substituição de água potável por água pluvial. O autor não informou a economia de água potável que será obtida através da utilização de água pluvial, nem se o algoritmo pode ser utilizado tanto para abastecimento direto quanto indireto e se o modelo foi validado através de experimentos de campo.

Outros modelos também são encontrados na bibliografia, como é o caso do algoritmo desenvolvido por Domínguez et al. (2001), que considera precipitação diária no dimensionamento de reservatórios para fins de aproveitamento de água pluvial.

Em geral, os trabalhos realizados com os modelos citados consideram séries históricas de precipitação pluviométrica diária ou horária e a demanda de água pluvial nas edificações no mesmo período. Assim, se o volume de água pluvial disponível no reservatório é maior do que a demanda, esta é atendida plenamente; se o volume é inferior à demanda, esta é complementada com água potável.

2.3.2.2. Programa computacional Netuno

O programa Netuno é um modelo comportamental e foi desenvolvido para estimar o potencial de economia de água potável, para um ou mais volumes de reservatório, quando há o aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais localizadas em Florianópolis (GHISI, 2006b).

Na primeira versão do programa, os dados de precipitação pluviométrica considerados nas análises eram relativos aos anos de 2001, 2002 e 2003 para a cidade de Florianópolis. Também se considerava que 50% da água potável utilizada na residência pudesse ser substituída por água pluvial. Análises envolvendo outros dados de precipitação e demandas de água potável e pluvial podiam ser realizadas utilizando-se o algoritmo do programa em planilha eletrônica.

Os dados de entrada necessários para utilização do algoritmo são a precipitação pluviométrica para um período qualquer (preferencialmente uma série histórica), demanda de água potável, demanda de água pluvial, área de captação, volume do reservatório e coeficiente de aproveitamento de água pluvial.

No setor residencial, a demanda de água pluvial pode ser definida em função de uma percentagem da demanda de água potável³, conforme exemplificado na Eq. 2.11.

$$D_{\text{apluv}} = D_{\text{ap}} \times D \times n \quad (2.11)$$

Onde:

D_{apluv} é a demanda de água pluvial (litros);

D_{ap} é a demanda de água potável (adimensional; % da demanda de água potável);

D é a demanda de água potável (litros *per capita*/unidade de tempo);

n é o número de moradores da residência.

O algoritmo realiza os cálculos em base diária e pode ser utilizado para cálculos em base horária, considerando a demanda e a disponibilidade de água pluvial. No intervalo de tempo definido para a análise, a água pluvial que escoar pela superfície de captação, descontadas as perdas, é conduzida ao reservatório de armazenamento. Se a capacidade do reservatório é excedida e se a demanda de água pluvial é menor que esse volume, a demanda é atendida e o excesso de água é extravasado. Caso contrário, a demanda de água pluvial é atendida parcial ou totalmente pela concessionária de água potável (GHISI, 2006b). As equações e fluxogramas apresentados a seguir ajudam a entender o procedimento.

Inicialmente, calcula-se o volume aproveitável de água pluvial que escoar pela superfície de captação e é conduzido ao reservatório de armazenamento, com o auxílio da Eq. 2.1.

³ A demanda de água potável inclui todos os usos potáveis e não potáveis considerando abastecimento apenas pela concessionária de água potável.

Em seguida, calcula-se, o volume de água pluvial armazenado no reservatório e o volume de água pluvial consumido, respectivamente, através dos fluxogramas das Figuras 15 e 16, onde as siglas identificadas equivalem a:

V_R é o volume de água pluvial armazenado no reservatório (litros);

V_C é o volume de água pluvial consumido (litros);

V_{RA} é o volume de água pluvial armazenado no reservatório no intervalo de tempo imediatamente anterior (litros);

V_{ap} é o volume aproveitável de água pluvial (litros); obtido por meio da Eq. 2.1;

V_T é o volume útil do reservatório (litros);

D_{apluv} é a demanda de água pluvial (litros).

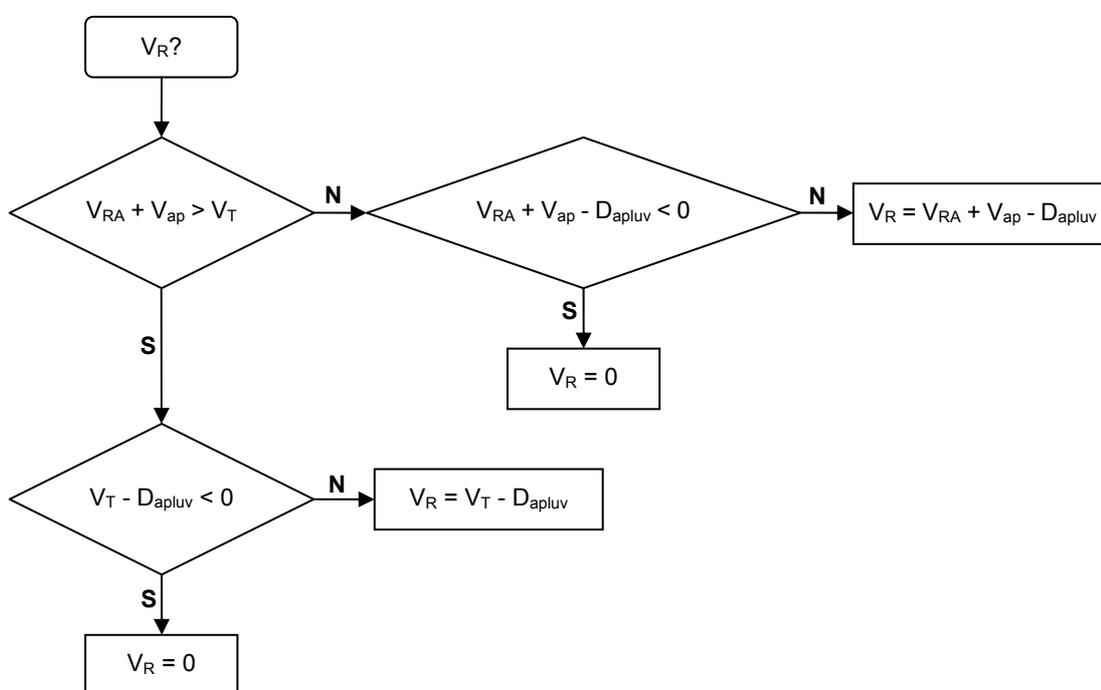


Figura 15. Algoritmo do programa Netuno para obtenção do volume de água pluvial armazenado no reservatório.

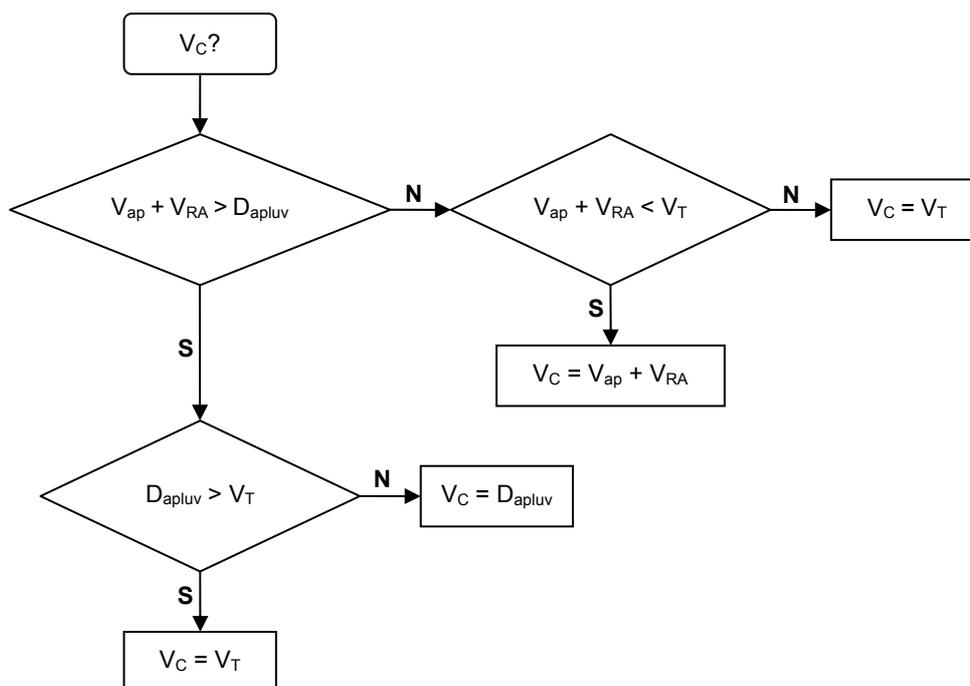


Figura 16. Algoritmo do programa Netuno para obtenção do volume de água pluvial consumido.

Caso a primeira condição do fluxograma da Figura 15 seja atendida, há extravasamento de água pluvial no intervalo de tempo considerado.

Quanto ao consumo de água pluvial do reservatório, este ocorre depois da chuva, semelhante ao que acontece no algoritmo YBS (JENKINS et al., 1978).

O potencial de economia de água potável é calculado através da relação entre o volume total de água pluvial consumido durante todo o período analisado e a demanda total de água potável para o mesmo período, conforme representa a Eq. 2.12.

$$P_e = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^j V_c}{D \times n \times j} \quad (2.12)$$

Onde:

P_e é o potencial de economia de água potável estimado, obtido através do aproveitamento de água pluvial (%);

- D é a demanda de água potável no intervalo de tempo considerado (litros *per capita*/unidade de tempo);
- n é o número de moradores da residência;
- j é o número de horas ou dias no período analisado; depende do intervalo de tempo utilizado na simulação;
- V_c é o volume de água pluvial consumido em cada hora ou dia (litros); depende do intervalo de tempo utilizado na simulação.

O produto $D \times n \times j$ representa a demanda total de água potável no período analisado.

O algoritmo pode ser utilizado para descrever a operação de sistema de distribuição direto (por gravidade ou circulação forçada); ou sistema de distribuição indireto (cisterna e reservatório superior). No último caso, a economia de água potável verificada em situações reais pode ser levemente superior a estimada pelo algoritmo. Isto se deve ao fato do sistema de aproveitamento ter sua capacidade de armazenamento aumentada quando os reservatórios (inferior e superior) estão vazios.

2.3.2.3. Método de Rippl

O diagrama de massas, conhecido pelos hidrólogos como método de Rippl, sugerido pelo engenheiro austríaco W. Rippl em 1882 (CHOW, 1964), foi o primeiro método publicado para dimensionar reservatórios com o objetivo de regularizar vazões em períodos de estiagem (MATHIS, 2003). Neste método, o volume de água que escoar pela superfície de captação é subtraído da demanda de água pluvial em um mesmo intervalo de tempo. A máxima diferença acumulada positiva é o volume do reservatório para 100% de confiança (SCHILLER; LATHAN, 1982b).

O método de Rippl pode ser resolvido graficamente ou analiticamente, para demanda constante, ou seja, para esgotamento constante do reservatório ou para demanda variável, quando o esgotamento do reservatório é variável

(GARCEZ, 1976). No entanto, face aos recursos computacionais disponíveis atualmente, a resolução pelo método gráfico deixou de ser utilizada.

Tomaz (2003) afirma que o método de Rippl pode ser utilizado para precipitações mensais e diárias, porém ressalta a falta de praticidade quando se utilizam dados diários de precipitação; sugerindo, neste caso, fazer uso de simulação computacional e também de séries históricas de 10 anos.

Independentemente do tipo de esgotamento do reservatório (constante ou variável), o método de Rippl só se aplica quando o volume total captado em um determinado período é maior ou igual ao volume total demandado neste período, suprindo assim 100% da demanda de água pluvial durante a estiagem. Caso contrário, iguala-se o valor do volume total demandado ao do volume total captado, sendo necessário calcular um novo percentual de suprimento da demanda para o período de estiagem (ROCHA, 2006).

A NBR 15527 - Água de chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - sugere o método de Rippl, entre outros, para cálculo do volume do reservatório de armazenamento de água pluvial (ABNT, 2007).

A seguir é apresentado um roteiro de cálculo para aplicação do método de Rippl. Inicialmente, calcula-se o volume de água pluvial que escoar pela superfície de captação, para cada intervalo de tempo t considerado, através da Eq. 2.13.

$$V_t = P_t \times A \times C \quad (2.13)$$

Onde, no intervalo de tempo t , tem-se:

V_t é o volume de água pluvial que escoar pela superfície de captação (litros);

P_t é a precipitação pluviométrica da localidade (mm);

A é a área de captação (m^2);

C é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

Em seguida, calcula-se a diferença entre a demanda de água pluvial e o volume de água que escoa pela superfície de captação, para cada intervalo de tempo t considerado, através da Eq. 2.14.

$$S_t = D_t - V_t \quad (2.14)$$

Onde:

S_t é a diferença entre a demanda de água pluvial e o volume de água que escoa pela superfície de captação (litros);

D_t é a demanda de água pluvial (litros);

V_t é o volume de água pluvial que escoa pela superfície de captação (litros).

O volume do reservatório será a máxima diferença acumulada positiva, calculada por meio da Eq. 2.15, somente para valores $S_t > 0$.

$$V_{res} = \sum_{i=1}^d S_t \quad (2.15)$$

Onde:

V_{res} é o volume do reservatório para 100% de confiança (litros);

d é o número de dias ou meses no período analisado;

S_t é a diferença entre a demanda de água pluvial e o volume de água que escoa pela superfície de captação (litros).

2.3.2.4. Método estatístico

Nesse método o dimensionamento do reservatório de armazenamento de água pluvial é realizado em função da probabilidade de ocorrência de chuvas de determinada intensidade (SCHILLER; LATHAN, 1982b) ou através do número de dias consecutivos sem chuva (GROUP RAINDROPS, 2002).

O método que leva em consideração o número de dias consecutivos sem chuva, necessita de séries históricas de precipitação pluviométrica diária de pelo menos 40 anos para ser utilizado (GROUP RAINDROPS, 2002). Porém,

alguns pesquisadores vêm utilizando séries curtas nos trabalhos envolvendo esse método (BATISTA; GHISI, 2005; SIMIONI et al., 2004).

O roteiro de cálculo pode ser utilizado para tempo de recorrência mensal ou anual. Inicialmente, determina-se o número de dias consecutivos sem chuva para cada mês ou ano da série de precipitações da região. Em seguida, dispõem-se os elementos em ordem decrescente, calcula-se a frequência acumulada para cada evento e a frequência total. Através da equação de distribuição de Weibull (Eq. 2.16), calcula-se a probabilidade de cada evento.

$$P = \frac{M}{(N_t + 1)} \quad (2.16)$$

Onde:

P é a probabilidade de ocorrência do evento (adimensional);

M é a frequência acumulada do evento (adimensional);

N_t é a frequência acumulada total (adimensional).

Em seguida calcula-se o tempo de recorrência para cada evento, utilizando-se a Eq. 2.17.

$$T = \frac{1}{P} \quad (2.17)$$

Onde:

T é o tempo de recorrência do evento (meses ou anos);

P é a probabilidade de ocorrência do evento (adimensional).

Após calcular o tempo de recorrência para cada evento, calcula-se a variável reduzida (X) pela equação estatística de Gumbel (Eq. 2.18).

$$X = -\ln [-\ln (1 - P)] \quad (2.18)$$

Onde:

X é a variável reduzida;

P é a probabilidade de ocorrência do evento (adimensional).

O volume do reservatório é dimensionado em função do tempo de recorrência definido pelo projetista. Para cada tempo de recorrência, há um número equivalente de dias consecutivos sem chuva. A partir desse número calcula-se o volume do reservatório através da Eq. 2.19.

$$V = N \times D_{ap} \times D_{sc} \quad (2.19)$$

Onde:

V é o volume do reservatório de água pluvial (litros);

N é o número de pessoas atendidas;

D_{ap} é a demanda diária de água potável (litros *per capita*/dia);

D_{sc} é o número de dias consecutivos sem chuva considerado.

2.3.2.5. Método de Monte Carlo

O método de Monte Carlo simula séries sintéticas de precipitação pluviométrica, quando não se dispõe de dados em quantidade suficiente para o dimensionamento do reservatório de água pluvial. Assim sendo, deve ser utilizado em conjunto com outros modelos para que se obtenha o resultado desejado.

Os dados gerados pelo método são aleatórios e possuem distribuição de probabilidade acumulada. Mesmo sendo determinados ao acaso, a média e a distribuição de um número infinito de dados simulados ajustam-se perfeitamente à média e ao coeficiente de variação da amostra de dados original (HAMMERSLEY; HANDSCOMBE, 1964 apud FEWKES; FERRIS, 1982).

O método de Monte Carlo pode ser utilizado para gerar quaisquer séries de dados, inclusive de consumo de água. Exemplos de aplicação deste método podem ser obtidos junto a Tomaz (2003).

2.3.2.6. Métodos práticos

Algumas publicações sugerem a utilização de métodos práticos para o dimensionamento do reservatório de armazenamento pluvial (ABNT, 2007; HANDIA et al., 2003). No entanto, na maioria das vezes, esses métodos são inadequados porque generalizam uma série de grandezas de elevada variabilidade, como a precipitação pluviométrica e as demandas de água potável e pluvial.

2.4. Estudos sobre aproveitamento de água pluvial

O aproveitamento de água pluvial em edificações vem sendo objeto de estudos em diferentes países no mundo. Aspectos relacionados à qualidade da água de chuva e a viabilidade de implantação dos sistemas são os mais pesquisados. O dimensionamento do reservatório de armazenamento, essencial para a viabilidade dos projetos, é pouco abordado; e na maior parte dos sistemas, o monitoramento e a avaliação após a implantação é precária ou inexistente (PALMIER, 2003).

Dos métodos de dimensionamento apresentados, apenas o modelo YAS (armazenamento de água pluvial após o consumo) foi validado através de experimentos de campo (FEWKES, 1995).

Hernandes et al. (2004) utilizaram o método de Rippl para determinar o volume do reservatório de água pluvial em uma residência localizada na cidade de Ribeirão Preto, SP. A edificação foi monitorada por um período de 12 meses e análises qualitativas e quantitativas da água pluvial coletada foram realizadas (HERNANDES; AMORIM, 2006). Os autores não utilizaram os dados obtidos para validar o método empregado no dimensionamento do reservatório.

A validação do algoritmo YAS ocorreu através do monitoramento do sistema de aproveitamento de água pluvial de uma residência localizada em Nottingham, no Reino Unido. A precipitação pluviométrica anual média é de 601mm, a área de captação (no plano) é de 85m² e a água pluvial é utilizada somente para

descargas de bacia sanitárias (FEWKES, 1999a). O sistema de aproveitamento foi instrumentado com hidrômetros, para registrar o consumo de água potável, água pluvial e volume extravasado do reservatório, e com uma estação meteorológica para registro de variáveis climáticas (precipitação pluviométrica, temperatura externa, velocidade e direção do vento). A variação do volume armazenado no reservatório ao longo do tempo foi calculada através da conversão de dados de um transmissor de pressão em volumes. Com um reservatório de 2032 litros e monitoramento de 12 meses, obteve-se suprimento de água pluvial para atender 57,2% da demanda de água das bacias sanitárias. A Figura 17 mostra a economia de água potável efetiva e a predita no período de monitoramento para intervalos de tempo horário e diário.

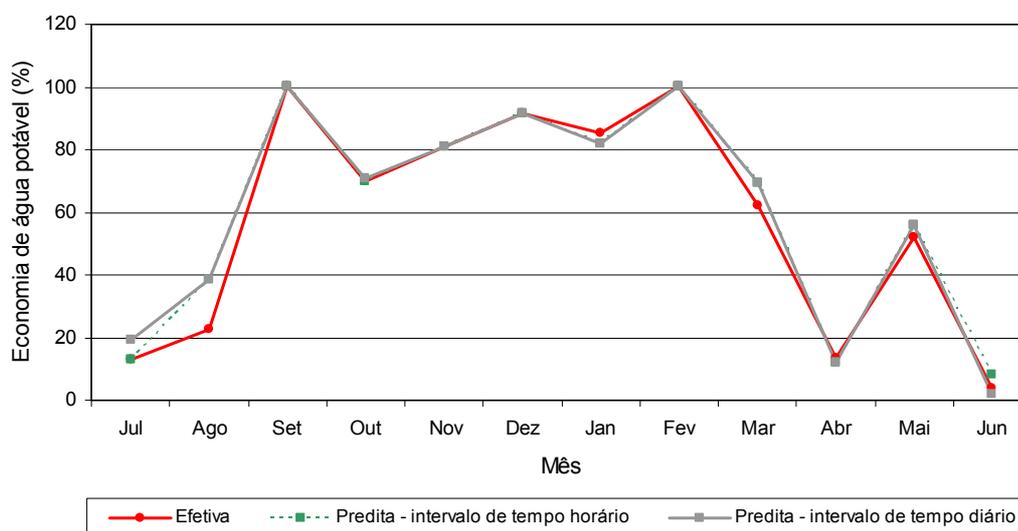


Figura 17. Economia de água potável efetiva e economia predita pelo algoritmo YAS.

Fonte: adaptado de Fewkes (1999a)

Verifica-se que no mês de agosto há uma diferença de aproximadamente 16% entre a economia efetiva e a economia predita para os dois intervalos de tempo considerados. Nos demais meses, quando há diferenças, essas atingem no máximo 7%. Somente no mês de janeiro a economia efetiva é maior que a economia predita; porém, o acréscimo é inferior a 4%. A utilização de dados em base horária não resultou em um aumento significativo de precisão na estimativa de desempenho do sistema de aproveitamento de água pluvial. Por esse motivo, Fewkes (1999a) recomendou a adoção de dados diários nas estimativas realizadas com o algoritmo YAS.

Na validação desse algoritmo observou-se, também, fraca correlação entre a velocidade e a direção do vento e o volume de água pluvial captado ($r=0,29$). Por fim, constatou-se que pequenas variações no coeficiente de escoamento superficial não afetam significativamente a estimativa de desempenho do sistema de aproveitamento de água pluvial (FEWKES, 1999a).

Fewkes e Butler (1999) investigaram o parâmetro (θ) utilizado para generalizar os algoritmos YAS e YBS, conforme evidenciado nas equações 2.7 e 2.8. As análises foram realizadas considerando a precipitação pluviométrica de Nottingham, no Reino Unido, para intervalos de tempo horário, diário e mensal. Diferentes combinações de área de telhado, capacidade do reservatório e demanda de água pluvial foram expressas em termos de índices adimensionais, conhecidos como fração de demanda (Eq. 2.20) e fração de armazenamento (Eq. 2.21).

$$F_D = \frac{D_a}{A \times P_a} \quad (2.20)$$

Onde:

- F_D é a fração de demanda (adimensional);
 D_a é a demanda anual de água pluvial (m^3); obtida pelo produto entre número de moradores, demanda de água potável *per capita*, demanda de água pluvial (em percentagem da demanda de água potável) e 365 dias;
 A é a área de captação da residência (m^2);
 P_a é a precipitação pluviométrica anual média de cada localidade (m).

$$F_s = \frac{S}{A \times P_a} \quad (2.21)$$

Onde:

- F_s é a fração de armazenamento (adimensional);
 S é a capacidade de armazenamento do reservatório (m^3);
 A é a área de captação da residência (m^2);
 P_a é a precipitação pluviométrica anual média de cada localidade (m).

A análise dos resultados mostrou que, para algumas frações de demanda, o desempenho do sistema predito para intervalo de tempo mensal, por meio do parâmetro (θ), apresenta boa correlação com o desempenho predito pelo algoritmo YAS para intervalo de tempo diário. Uma série de curvas, considerando as frações utilizadas, foram traçadas para determinar (θ), como mostra o exemplo da Figura 18; onde, S/AR é a fração de armazenamento e D/AR é a fração de demanda.

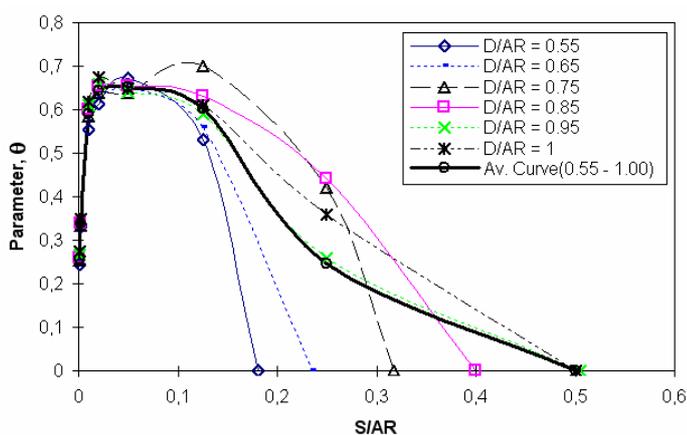


Figura 18. Exemplo de curvas utilizadas para determinar o parâmetro θ .

Fonte: adaptado de Fewkes e Butler (1999)

Fewkes e Butler (1999) recomendaram que a escolha do intervalo de tempo para simulação de comportamento do sistema de aproveitamento de água pluvial seja definida através da análise da fração de armazenamento, de acordo com os valores da Tabela 17.

Tabela 17. Intervalo de tempo para simulação de comportamento do sistema de aproveitamento de água pluvial em função da fração de armazenamento.

Fração de armazenamento (F_S)	Intervalo de tempo mínimo
$F_S \leq 0,01$	Horário
$0,01 < F_S \leq 0,125$	Diário
$F_S > 0,125$	Mensal

Liaw e Tsai (2004) realizaram experimentos para determinar o volume ideal de reservatórios para fins de aproveitamento de água pluvial em Taiwan. As análises foram realizadas através de simulação computacional, por meio dos algoritmos YAS e YBS, para dois volumes de reservatórios e intervalos de 1 dia e 10 dias. Os resultados apontaram uma maior eficácia do algoritmo YBS em

relação ao YAS e mostraram que a eficiência do sistema de aproveitamento de água pluvial é subestimada quando se considera intervalo de tempo superior a um dia. Recomendou-se o uso de séries de precipitação de pelo menos 50 anos e intervalos de tempo curtos para simulação de desempenho.

A viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água pluvial é afetada pelo dimensionamento do reservatório de armazenamento. De acordo com Roebuck e Ashley (2006), a análise de viabilidade econômica desses sistemas deve considerar, além do capital necessário para a implantação, todos os outros custos envolvidos no ciclo de vida do sistema, quais sejam de operação, manutenção e desativação. Para prever esses custos e a eficiência do sistema, os autores desenvolveram um programa computacional, denominado *RainCycle*, baseado em algoritmos que simulam o funcionamento do sistema de água pluvial ao longo do tempo. Na análise de viabilidade econômica, dois sistemas de abastecimento de água são comparados. Em um deles considera-se abastecimento apenas pela concessionária e no outro é previsto o uso simultâneo de água pluvial, sobretudo para fins não potáveis. A economia monetária ao longo da vida útil do projeto é a diferença entre o valor presente líquido dos custos acumulados de cada sistema. O tempo de recuperação do capital é o período em que esses valores acumulados se igualam e que, portanto, o sistema com aproveitamento de água pluvial torna-se vantajoso.

A Figura 19 ilustra um gráfico para exemplificar a metodologia utilizada na análise de viabilidade econômica do programa *RainCycle*. Pode-se perceber que o valor presente líquido dos custos (VPL_c) do sistema com aproveitamento de água pluvial é superior ao VPL_c do sistema sem aproveitamento no primeiro ano. Com o decorrer do tempo a economia proporcionada pelo uso da água pluvial faz o VPL_c do sistema com aproveitamento diminuir, tornando-o vantajoso a partir do 11^o ano (tempo de recuperação do capital). A economia total ao longo da vida útil do projeto é de £23.499.

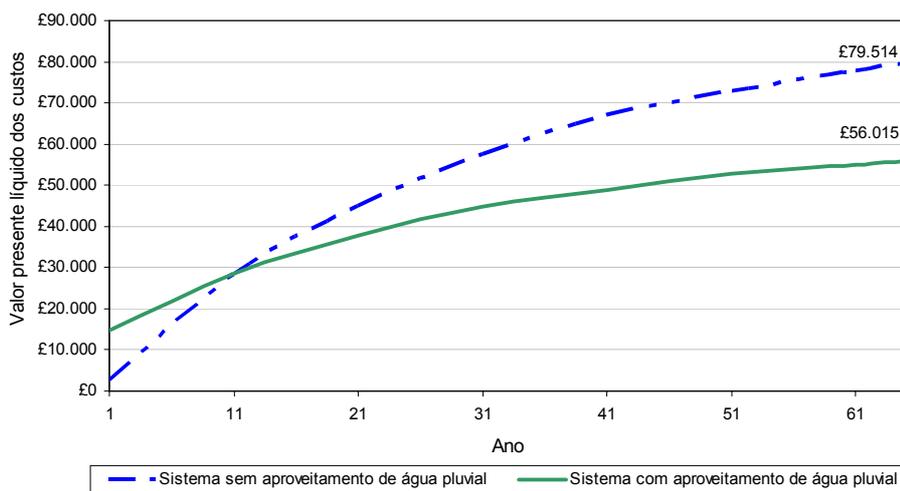


Figura 19. Gráfico utilizado na análise de viabilidade econômica do programa RainCycle.

Fonte: adaptado de SUDSOLUTIONS (2007)

No Reino Unido, a viabilidade de aproveitamento da água de chuva em uma escola secundária foi analisada por uma empresa especializada e também com o auxílio do programa RainCycle. Na avaliação da empresa, foi considerado somente o custo de implantação do sistema e partiu-se do pressuposto de que toda a água precipitada no telhado, descontadas as perdas por evaporação, absorção e filtragem, pode ser armazenada e utilizada. A escola localiza-se na cidade de Leeds, onde a precipitação pluviométrica anual média é de 886mm. Suas instalações são para 680 alunos e a utilização de água pluvial foi prevista para descarga de bacias sanitárias e mictórios. Os dados de entrada para as simulações, que compreenderam um período de 65 anos, e os resultados obtidos são apresentados na Tabela 18 (ROEBUCK; ASHLEY, 2006).

Percebe-se que as economias a longo prazo e anuais médias previstas pelo programa RainCycle são aproximadamente 85% inferiores que as previstas pela empresa. Isto se deve, em parte, porque a percentagem da demanda de água substituída por água pluvial é menor na análise feita pelo programa, mas principalmente, porque não foi aplicada taxa de desconto na avaliação da empresa. Em uma nova simulação por meio do programa, onde não se considerou taxa de desconto, a economia obtida a longo prazo foi de £ 71.441, valor expressivamente maior do que quando se considera uma taxa de 3,5% ao ano, porém, ainda menor que a economia prevista pelo fornecedor. Concluiu-se que a metodologia utilizada pela empresa, onde a capacidade do reservatório é

assumida como ilimitada, onde deixam de ser analisados custos do ciclo de vida e a remuneração dos investimentos no tempo, é inadequada porque superestima a eficiência e a economia realizáveis.

Tabela 18. Dados de entrada e resultados obtidos nas simulações para uma escola secundária localizada em Leeds, Reino Unido.

Dados de entrada			
Características do sistema		Custos prováveis	
Área de captação (m ²)	1.845	Implantação do sistema (£)	18.700
Coeficiente de aproveitamento	0,85	Contrato de manutenção (£/ano)*	250
Eficiência do filtro	0,90	Substituição de lâmpada UV (£/semestre)*	65
Volume do reservatório (m ³)*	45	Substituição de filtro UV (£/semestre)*	60
Demanda de água (m ³ /ano)*	1.546	Limpeza de área de captação (£/ano)*	100
Potência moto-bomba (W)*	1.000	Desativação do sistema (£)*	1.500
Potência unidade desinfecção UV (W)*	55	Água potável (£/m ³)*	1,92
Vazão da bomba (litros/min)*	60	Eletricidade (£/kWh)*	5,50
Resultados		Análise empresa	Análise RainCycle
Economia a longo prazo (£)		122.330**	18.370***
Período de retorno (anos)		10	17
Potencial de economia de água potável (%)		81	69
Economia anual média (£/ano)		1.882**	283***

* Dados que não fazem parte da análise da empresa;

** Não foi aplicada taxa de desconto;

*** Aplicou-se taxa de desconto de 3,5% ao ano.

Outros estudos indicam que o aproveitamento de água pluvial está ganhando ênfase no setor residencial em várias partes do mundo, devido ao elevado potencial de economia de água potável. Na Alemanha, uma pesquisa desenvolvida por Herrmann e Schmida (1999) mostrou que a economia de água potável pode variar de 30% a 60%, com reservatórios de 4m³ a 6m³, dependendo da demanda e da área de captação. As análises foram realizadas para a cidade de Bochum, utilizando-se precipitação pluviométrica para um período de dez anos (1981 a 1990), com média anual é de 787mm. Não foi mencionado se os dados de precipitação utilizados no procedimento de cálculo eram diários.

Villarreal e Dixon (2005) analisaram um condomínio residencial multifamiliar na cidade de Norrköping, Suécia, onde a precipitação anual média é de 508mm. O condomínio possui 1100 apartamentos e uma área total de captação de 27.600m². Utilizou-se o método de Monte Carlo, para gerar perfis horários de

usos finais de água nos aparelhos sanitários, e um algoritmo que considera consumo de água pluvial após a chuva para verificar o desempenho de reservatórios de 20m³ a 90m³. Através de simulações horárias, verificou-se que dispondo-se de um reservatório de 40m³ seria possível suprir 60% da demanda de água potável para descarga de bacias sanitárias.

Na Austrália, Coombes et al. (1999) analisaram 27 casas em Newcastle onde se faz, conjuntamente, o aproveitamento de água pluvial para descarga de bacias sanitárias e para suprimento do sistema de aquecimento com água quente. Estimou-se um potencial de economia de água potável de 45% para o consumo interno das residências e de 60% quando se consideram outros usos, dentre os quais a irrigação de jardins. Informações sobre o dimensionamento de reservatórios não foram apresentadas.

No Brasil, a maioria dos estudos teóricos sobre aproveitamento de água pluvial, que envolvem o dimensionamento do reservatório de armazenamento dessa água, fazem uso do método de Rippl ou do algoritmo do programa Netuno. Apenas alguns trabalhos fazem menção a outros métodos de dimensionamento, e não há experiências publicadas sobre validação desses modelos.

Há controvérsias quanto a validade da utilização do método de Rippl para dimensionamento de reservatórios para fins de aproveitamento de água pluvial, e, em alguns casos, até mesmo para cálculos relacionados à regularização de vazões, como mostram os trabalhos realizados por Batista et al. (2000) e Fendrich (2004).

Ghisi (2006b) relata que o método de Rippl aparenta ser inadequado, pois conduz a volumes de reservatório maiores do que quando se consideram métodos estatísticos ou simulação computacional. No mesmo sentido, Anecchini (2005), após realizar um estudo para um bloco da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e para uma residência unifamiliar, considerou o método de Rippl inviável e apontou a simulação computacional como modelo que resultou em menores volumes de armazenamento.

Por outro lado, outros autores consideram o método eficiente e simples de ser utilizado (CAMPOS, 2004). Aplicações do método de Rippl podem ser obtidas junto à Hernandez et al. (2004), May (2004), Pires et al. (2004), Werneck (2006), entre outros trabalhos.

No âmbito da UFSC, diversos estudos sobre o potencial de economia de água potável obtido pela utilização de água pluvial e, também, a respeito do dimensionamento de reservatórios através do programa Netuno, vêm sendo realizados.

Ghisi (2006a) estimou o potencial de economia de água potável através do aproveitamento de água pluvial no setor residencial de cada uma das cinco regiões geográficas do Brasil, considerando residências uni e multifamiliares conjuntamente. Verificou-se que o potencial de economia varia de 48% na região sudeste a 100% na região norte, conforme dados mostrados na Tabela 19.

Tabela 19. Volume de água pluvial, demanda de água potável e potencial de economia de água potável nas cinco regiões brasileiras.

Região	Volume de água pluvial (m ³ <i>per capita</i> /ano)	Demanda de água potável		Potencial de economia de água potável (%)
		(litros <i>per capita</i> /dia)	(m ³ <i>per capita</i> /ano)	
Norte	38,419	88	32,120	100
Nordeste	21,457	97	35,405	61
Sudeste	27,953	158	57,670	48
Sul	35,000	117	42,705	82
Centro-Oeste	32,608	120	43,800	74

Fonte: Ghisi (2006a)

Estudos semelhantes mostram o potencial de economia de água potável para outras 257 cidades brasileiras. No estado de Santa Catarina, 62 cidades foram analisadas. Nesses municípios obteve-se demanda média de água potável de 118 litros *per capita* por dia e precipitação pluviométrica anual média de 1.700mm, valor próximo à média brasileira de 1.797mm. O potencial de economia de água potável através do aproveitamento de água pluvial obtido nestas cidades foi, em média, de 69%, variando de 34% a 92% (GHISI et al., 2006).

Na região sudeste, analisou-se 195 cidades (163 em São Paulo, 20 em Minas Gerais, 4 no Espírito Santo e 8 no Rio de Janeiro). A demanda média de água potável variou entre 89 e 307 litros *per capita* por dia, com média diária *per capita* de 162 litros em São Paulo, 150 litros em Minas Gerais, 166 litros no Espírito Santo e 217 litros no Rio de Janeiro. O potencial médio de economia de água potável obtido foi de 41% para os 195 municípios. Analisando-se cada estado separadamente, os potenciais de economia foram de 42% em São Paulo e em Minas Gerais, 35% no Espírito Santo e 29% no Rio de Janeiro (GHISI et al., 2007).

Ghisi e Oliveira (2007) avaliaram a possibilidade de se utilizar água pluvial e de se fazer reuso de águas cinzas, separadamente e em conjunto, em duas residências unifamiliares localizadas em Palhoça, SC. Os resultados obtidos para o sistema de aproveitamento de água pluvial são apresentados a seguir. As análises foram realizadas utilizando-se precipitação pluviométrica diária para um período de 34 anos (1969 a 2002); a precipitação pluviométrica média de Palhoça foi de 1.706mm. O volume de reservatório e o respectivo potencial de economia de água potável foram obtidos através do algoritmo do programa Netuno. Os dados de entrada e os resultados obtidos nas simulações são apresentados na Tabela 20. A utilização de água pluvial foi prevista para descargas de bacias sanitárias e lavagem de roupas.

Tabela 20. Dados de entrada e resultados obtidos nas simulações para duas residências localizadas em Palhoça, SC.

Dados de entrada	Residência A	Residência B
Demanda de água potável (litros <i>per capita</i> /dia)	202,2	147,9
Número de moradores	3	2
Área de captação (m ²)	203,8	212,4
Coeficiente de aproveitamento de água pluvial	0,80	0,80
Demanda de água pluvial (% da demanda de água potável)	36,6	33,8
Resultados		
Volume do reservatório inferior (litros)	5.000	3.000
Economia de água potável (%)	35,5	33,6

Fonte: adaptado de Ghisi e Oliveira (2007)

Verifica-se que, com a utilização de um reservatório de 5.000 litros na residência A, a economia de água potável a ser obtida será 1,1% inferior ao potencial obtido através dos levantamentos de usos finais. Na residência B,

com reservatório de 3.000 litros, atinge-se economia de água potável de 33,6%, apenas 0,2% inferior ao potencial levantado. Apesar das economias de água potável, verificou-se que a implantação dos sistemas propostos é inviável em ambas as residências, pois o período de retorno dos investimentos é superior a 21 anos. Isso se deve ao fato de haver cobrança de taxa mínima de 10m³ mensais pela concessionária de água. Dessa forma, esse tipo de investimento somente será viável para edificações cujo consumo de água potável seja significativamente superior a 10m³.

Análise semelhante foi realizada por Ghisi e Ferreira (2007) em um condomínio residencial, composto de três blocos de apartamentos, localizado em Florianópolis, SC. O volume de reservatório e o respectivo potencial de economia de água potável foram obtidos diretamente através do programa Netuno. Os dados de entrada e os resultados obtidos nas simulações são apresentados na Tabela 21. A utilização de água pluvial foi prevista para descargas de bacias sanitárias, lavagem de roupas e limpeza dos apartamentos.

Tabela 21. Dados de entrada e resultados obtidos nas simulações para um condomínio residencial multifamiliar localizado em Florianópolis, SC.

Dados de entrada	Bloco A	Bloco B	Bloco C
Demanda de água potável (litros <i>per capita</i> /dia)	179,1	133,3	141,4
Número de moradores por apartamento	2,25	2,67	2,33
Número de apartamentos por bloco	16	17	16
Área de captação (m ²)	324,0	324,0	324,0
Coefficiente de aproveitamento de água pluvial	0,85	0,85	0,85
Demanda de água pluvial (% da demanda de água potável)	39,2	40,1	42,7
Resultados			
Volume do reservatório inferior (litros)	10.000	10.000	10.000
Economia de água potável (%)	14,7	15,6	17,7

Fonte: adaptado de Ghisi e Ferreira (2007)

Percebe-se que as economias de água potável são significativamente inferiores aos potenciais de economia obtidos através dos levantamentos dos usos finais de água. Porém, o investimento é viável nos blocos A e B, com períodos de retorno de 2,4 e 5 anos, respectivamente. No bloco C, não há retorno do investimento, pois o consumo médio de cada apartamento é igual a 10m³;

portanto, qualquer economia de água potável não é revertida em benefício financeiro para os moradores.

Além dos trabalhos referenciados, outras aplicações do programa Netuno podem ser verificadas nos trabalhos realizados por Bald e Xavier (2004), Cardoso (2006), Rocha (2006), Ghisi et al. (2007) e Kammers (2007).

2.5. Considerações finais

Neste capítulo, buscou-se abordar aspectos relevantes ao dimensionamento de reservatórios para fins de aproveitamento de água pluvial no setor residencial. Ao mesmo tempo, procurou-se evidenciar a redução do consumo de água no Brasil, devido à diminuição da disponibilidade hídrica e, também, o possível potencial de economia de água potável pelo aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais.

Com relação ao consumo de água, pode-se perceber que houve diminuição expressiva na região sudeste, mantendo-se relativamente estável nas demais regiões brasileiras para o período analisado (1995-2005). Em contrapartida, registrou-se aumento de consumo em outros locais, como é o caso da cidade de Florianópolis. As análises dos usos finais de água mostraram que, mesmo quando se utiliza equipamentos economizadores, cerca de 30% a 50% da água potável utilizada nas residências poderia ser substituída por água pluvial.

Das variáveis envolvidas no dimensionamento do reservatório, a precipitação pluviométrica local é a que mais afeta esse cálculo. Todavia, observou-se que até mesmo em regiões com índices pluviométricos considerados baixos é possível obter satisfatórias economias de água potável, quando se utiliza água pluvial para fins não potáveis.

Quanto aos métodos de dimensionamento apresentados, verificou-se que os modelos comportamentais aparentam ser os mais adequados, por retratarem com realismo a operação dos sistemas de aproveitamento de água pluvial. No

entanto, não foram encontrados modelos que tenham sido validados sob as condições de funcionamento de edificações residenciais brasileiras. Dessa forma, este trabalho contribui por ampliar os estudos sobre o dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água pluvial.

3. Metodologia

Em algumas áreas da engenharia é comum o uso de métodos de comparação entre modelos para validação de algoritmos, quando não é possível fazer a verificação do código através de experimentos de campo (JUDKOFF; NEYMARK, 1998 apud WESTPHAL, 2003). Neste trabalho, optou-se por um processo de validação empírico devido à possibilidade de obtenção de dados reais junto a uma edificação localizada na cidade de Florianópolis, denominada Casa Eficiente.

O estudo foi baseado em simulações computacionais para estimar o potencial de economia de água potável com dados obtidos na Casa Eficiente, considerando as características físicas do sistema de aproveitamento de água pluvial. Os resultados das simulações foram analisados frente à economia de água potável obtida através da utilização de água pluvial, para fins não potáveis na residência estudada.

A metodologia adotada para atingir os objetivos do trabalho compreendeu quatro etapas, além da descrição do objeto de estudo, a seguir relacionadas:

- Coleta e tratamento preliminar de dados;
- Avaliação do potencial de economia de água potável estimado e da economia efetivamente obtida na Casa Eficiente;
- Verificação do intervalo de tempo mais adequado para estimar o potencial de economia de água potável em simulações computacionais com o programa Netuno;
- Avaliação da influência de diferentes índices pluviométricos, obtidos em outras estações meteorológicas localizadas na região de Florianópolis, no potencial de economia de água potável.

3.1. Objeto de estudo

A Casa Eficiente possui 206m² de área construída e está localizada junto à Eletrosul, na parte insular de Florianópolis. As Figuras 20 e 21 mostram respectivamente, a localização da cidade de Florianópolis no Brasil e, a da Casa Eficiente nesta cidade.



Figura 20. Mapa do Brasil com a localização da cidade de Florianópolis, SC.



Figura 21. Localização da Casa Eficiente em Florianópolis.

A edificação foi projetada e construída objetivando um bom desempenho ambiental e o uso racional de energia elétrica e água. Entre as estratégias

adotadas para a conservação da água, destaca-se a utilização de água pluvial para fins não potáveis e o reuso de águas cinzas para irrigação do jardim. Neste trabalho, são abordados apenas aspectos relacionados ao dimensionamento do reservatório de armazenamento de água pluvial. A Figura 22 apresenta um esquema do sistema de aproveitamento dessa água para a Casa Eficiente.

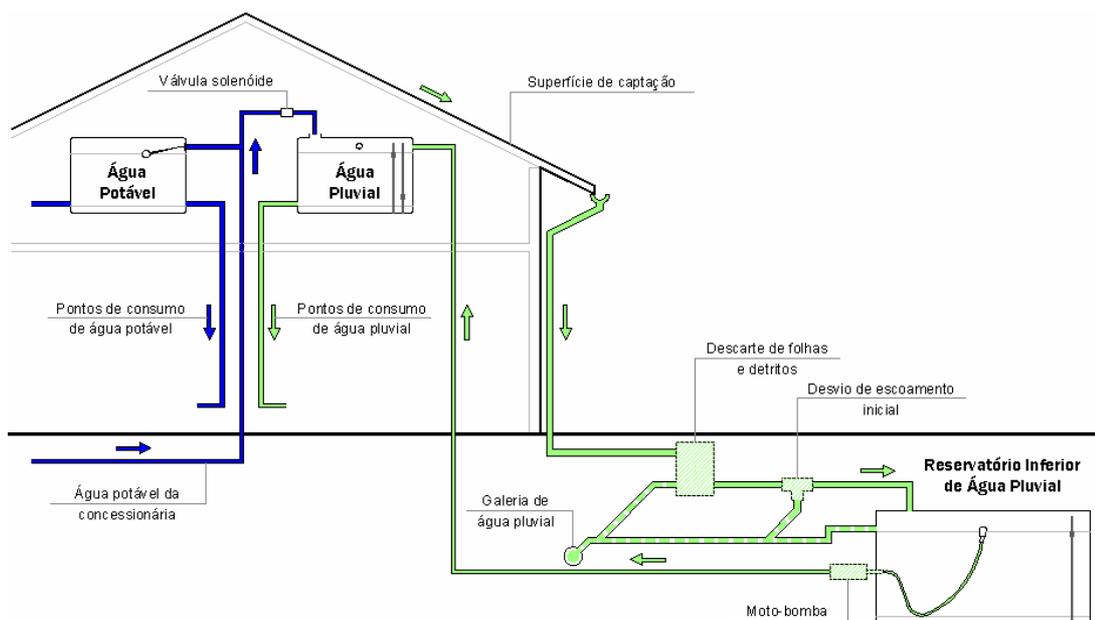


Figura 22. Esquema do sistema de aproveitamento de água pluvial da Casa Eficiente.

A água pluvial é captada na cobertura da Casa Eficiente e conduzida para dispositivos onde é realizado o descarte de folhas e detritos e o desvio de escoamento inicial. Em seguida, o volume descartado por esses dispositivos é direcionado para a galeria de água pluvial e o volume restante, parcialmente clarificado, é armazenado no reservatório inferior de água pluvial. Caso este reservatório esteja cheio ou atinja o nível de extravasamento, o volume excedente também é direcionado para a galeria de água pluvial. Um sistema composto de chaves de nível instaladas em série e de uma moto-bomba, possibilita o recalque da água pluvial para o reservatório superior, de onde é realizada a distribuição por gravidade para os pontos de consumo (descarga da bacia sanitária, máquina de lavar roupa, tanque e torneira externa para limpeza em geral). Quando não há água em quantidade suficiente no reservatório inferior para abastecer o reservatório superior de água pluvial, uma válvula solenóide controlada por uma chave de nível permite que um pequeno volume

de água potável seja liberado neste reservatório. Essa operação é repetida continuamente, até que se disponha de água de chuva no reservatório inferior. Desse modo, assegura-se o suprimento da demanda de água para os fins não potáveis e a eficiência do sistema de aproveitamento de água pluvial.

De acordo com informações do fabricante do dispositivo para descarte de folhas e detritos (3P Technik), a perda de água nesse equipamento varia de 5% a 10% do volume de água pluvial que por ele passa (PIRES et al., 2004). Em pesquisa com este dispositivo na Casa Eficiente, a perda de água variou de 7,6% a 8,0% para precipitações de 8,6mm a 9,0mm (MARINOSKI et al., 2009). Com relação ao dispositivo de desvio de escoamento inicial, sabe-se que é possível ajustá-lo para descarte de 5 a 1000 litros. Porém, esse descarte não acontece necessariamente em todos os eventos de chuva, em virtude da intensidade da precipitação pluviométrica e da variabilidade climática. Devido a isto, no período de aquisição de dados, optou-se por não desviar o escoamento inicial das chuvas.

Mesmo não sendo objetivo desta pesquisa avaliar aspectos qualitativos da água pluvial, discorre-se sobre alguns cuidados para manter e melhorar a qualidade dessa água na Casa Eficiente, além dos mencionados anteriormente. Nas tubulações de entrada, extravasamento e retirada de água do reservatório inferior (Figura 23a), encontram-se instalados os seguintes dispositivos:

- “Freio d’água” para evitar turbilhonamento da água armazenada e ressuspensão de sólidos;
- “Sifão extravasor com mola espiral” para impedir o acesso de maus odores e a entrada de roedores;
- “Conjunto de sucção flutuante” para que a água retirada do reservatório seja sempre a mais próxima da superfície.

O reservatório inferior possui tampa metálica para impedir a incidência da luz solar e do calor na água, e na tubulação de recalque de água pluvial para o reservatório superior há um dosador automático de cloro (Figura 23b). Todas as tubulações e pontos de consumo de água pluvial são identificados através de cores ou de placas informativas, e a torneira externa é de uso restrito.



(a) Freio d'água, sifão extravasor e conjunto de sucção

(b) Dosador de cloro

Figura 23. Equipamentos utilizados para manutenção e melhoria da qualidade da água pluvial na Casa Eficiente.

3.1.1. Instrumentação do sistema de aproveitamento de água pluvial

A instrumentação do sistema de aproveitamento de água pluvial da Casa Eficiente antecede à realização desta pesquisa e, portanto, não será objeto de discussão. Sabe-se, no entanto, que esse trabalho foi executado após a conclusão da obra, restringindo-se a pequenas alterações nas instalações hidráulicas da edificação, com base em outros estudos semelhantes já realizados (FEWKES, 1993, 1999a).

A Figura 24 ilustra a disposição dos instrumentos de monitoramento na Casa Eficiente. São utilizados hidrômetros, para medir o consumo de água potável, água pluvial e o volume recalcado de água pluvial, e um transmissor de nível hidrostático para possibilitar o cálculo do volume armazenado no reservatório inferior de água pluvial ao longo do tempo e, também, do coeficiente de aproveitamento. A precipitação pluviométrica é registrada em uma estação meteorológica localizada no terreno da residência. Os hidrômetros são interligados a um sistema de medição individualizada e os demais dispositivos, a *data-loggers* para registro dos dados medidos.

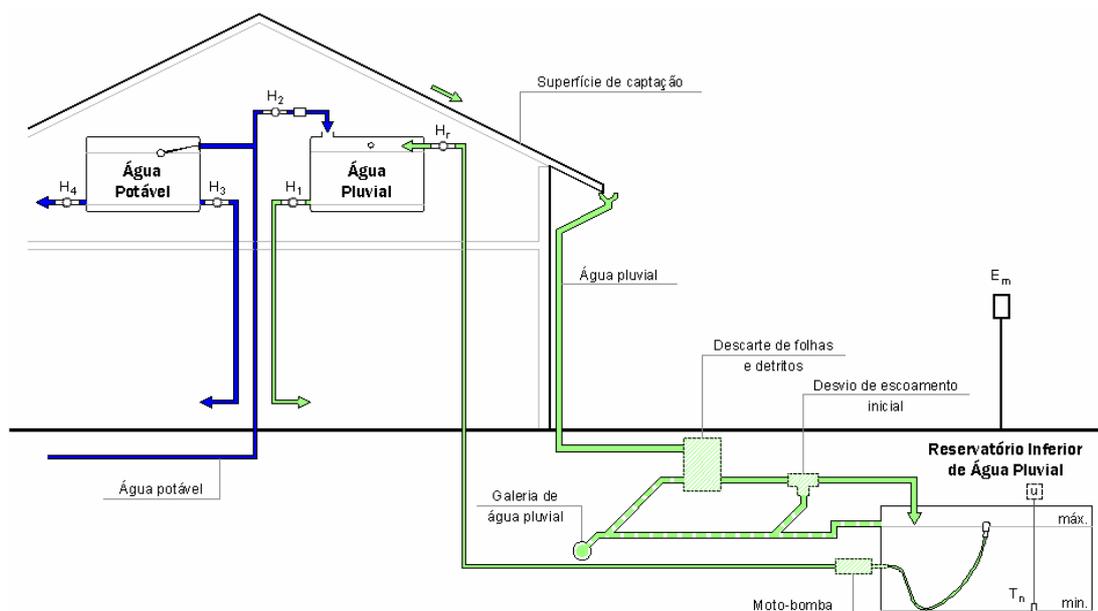


Figura 24. Disposição dos instrumentos de monitoramento no sistema de aproveitamento de água pluvial da Casa Eficiente.

Os elementos identificados na Figura 24 correspondem, respectivamente, a:

- H_R é o hidrômetro que mede o volume de água pluvial recalcado;
- H_1 é o hidrômetro que mede o volume de água utilizado para fins não potáveis, cujo valor é numericamente igual à demanda de água pluvial;
- H_2 é o hidrômetro que mede o volume de água potável utilizado para complementar a demanda de água pluvial;
- H_3 é o hidrômetro que mede o volume de água potável (em temperatura ambiente) utilizado para fins potáveis;
- H_4 é o hidrômetro que mede o volume de água potável, que será aquecida e utilizada para fins potáveis;
- T_n é o transmissor de nível hidrostático utilizado para registrar a variação de volume no reservatório inferior de água pluvial;
- E_m é a estação meteorológica utilizada para obtenção e registro da precipitação pluviométrica;
- u é o data-logger utilizado para registro dos dados do transmissor de nível.

Os hidrômetros utilizados são da marca LAO, linha 9000, padrão multijato magnético, equipados com sensor tipo *reed-switch* e saída de sinal com frequência de um pulso por litro. Possuem diâmetro nominal de 3/4" e como estão instalados na posição horizontal, assumem as seguintes vazões para a

classe metrológica B: vazão mínima de 30 litros/hora; vazão de transição de 150 litros/hora; vazão nominal de 1500 litros/hora e vazão máxima de 3000 litros/hora. O erro máximo relativo é de $\pm 5\%$ para vazões inferiores à vazão de transição e de $\pm 2\%$ para vazões superiores à vazão de transição. A Figura 25 mostra um dos hidrômetros utilizados na Casa Eficiente.



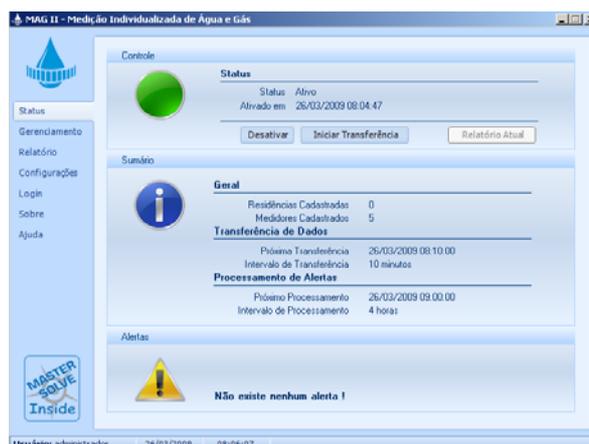
Figura 25. Hidrômetro utilizado na Casa Eficiente.

O sistema de medição individualizada é composto por um módulo receptor eletrônico denominado Hydrom e pelo software MAG II, cujo fabricante é a empresa Contécnica Medição, Comércio e Serviços (Figura 26). O receptor pode gerenciar até 26 pontos de medição de água fria ou quente, contando e acumulando os pulsos emitidos pelos hidrômetros individualmente. Através do software é possível programar o intervalo de aquisição dos dados no receptor, que pode variar de 1 segundo a 24 horas, coletar dados, e também emitir relatórios por medidor, com datas, horários e volumes registrados, entre outras funcionalidades. Em testes preliminares não houve diferenças entre os valores registrados pelos hidrômetros e pelo sistema de medição individualizada.

O transmissor de nível hidrostático utilizado é da marca Hytronic, modelo TSH, para faixa de pressão de 0 a 2 mca (Figura 27a). O equipamento opera pelo princípio de Pascal ($P = \gamma \times h$), convertendo a pressão aplicada pela coluna de água em sinal elétrico. Possui protetor contra descargas atmosféricas e cabo especial para compensação da pressão atmosférica. O sinal de saída varia de 4 a 20mA e a alimentação à rede de eletricidade é realizada por meio de uma fonte de corrente contínua de 24V. A incerteza do instrumento é de $\pm 0,25\%$ para o fundo de escala (2mca).



(a) Módulo receptor Hydrom



(b) Tela inicial do software MAG II

Figura 26. Sistema de medição individualizada

(a) Transmissor de nível



(b) Hobo modelo U12

Figura 27. Instrumentos utilizados no reservatório inferior de água pluvial.

As leituras realizadas pelo transmissor de nível são armazenadas em um Hobo modelo U12, marca Onset, que permite o registro de sinais de corrente e de tensão através de 4 canais externos (Figura 27b). A capacidade de memória do aparelho é de 43.000 leituras. O registro dos dados pode ser realizado para intervalo de tempo maior ou igual a 1 segundo, em múltiplos deste valor. Os dados registrados podem ser coletados e visualizados, sob forma de tabelas e gráficos, através do programa computacional HOBOWare, da Onset.

As Figuras 28a e 28b mostram respectivamente, a estação meteorológica e o pluviômetro da Casa Eficiente. A estação é da marca Campbell, modelo CR1000, e está equipada com sensores de temperatura e umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, precipitação, e pressão atmosférica. A plataforma de coleta de dados é alimentada por uma bateria, carregada por um

pequeno painel de geração de energia fotovoltaica, independente da rede pública de distribuição de energia elétrica. O pluviômetro utilizado possui sensor *dual reed-switch*, para faixa de medida de 0 a 500mm/h, e sua resolução é de 0,20mm. O diâmetro do funil é de 200mm e a incerteza do medidor é inferior a $\pm 2\%$ para intensidade de precipitação de 100mm/h. O local onde está instalado o pluviômetro é livre de obstáculos e de vegetações que possam interferir no volume captado. A altura de instalação do equipamento é de 1,50m em relação à superfície do terreno. A estação meteorológica registra os valores lidos com base no tempo universal coordenado (UTC), e o armazenamento de dados de precipitação ocorre a cada hora.



(a) Estação meteorológica



(b) Pluviômetro

Figura 28. Estação meteorológica e pluviômetro da Casa Eficiente.

As simulações computacionais para estimar o potencial de economia de água potável foram realizadas em base horária e diária, como será exposto adiante. Apesar disso, o sistema de medição individualizada e o *data-logger* do transmissor de nível hidrostático foram ajustados para registrar dados a cada dez minutos. Este ajuste, no caso do transmissor de nível, foi planejado para que se pudesse verificar se em algum momento do dia houve extravasamento no reservatório inferior de água pluvial.

3.1.2. Captação de água pluvial

Na residência estudada, a água pluvial utilizada para fins não potáveis é captada somente nas superfícies inclinadas da cobertura (Figura 29). A água de chuva proveniente de tetos-jardim e do terraço é conduzida à cisterna de água cinza, a fim de complementar o volume necessário para irrigação do jardim.



Figura 29. Planta de cobertura da Casa Eficiente.

A Figura 30 mostra as fachadas norte e sul da Casa Eficiente, onde podem ser vistos os materiais de revestimento da cobertura. Utilizou-se telhas cerâmicas nos telhados laterais e telhas metálicas no telhado central, onde está instalado o painel de geração de energia elétrica fotovoltaica. A inclinação da cobertura é de 27° ou aproximadamente 51%.



(a) Fachada norte



(b) Fachada sul

Figura 30. Fachadas norte e sul da Casa Eficiente.

A cobertura possui platibandas nos oitões do telhado central, dispostas para as fachadas leste e oeste da edificação, conforme destacado na Figura 31.



(a) Fachada leste



(b) Fachada oeste

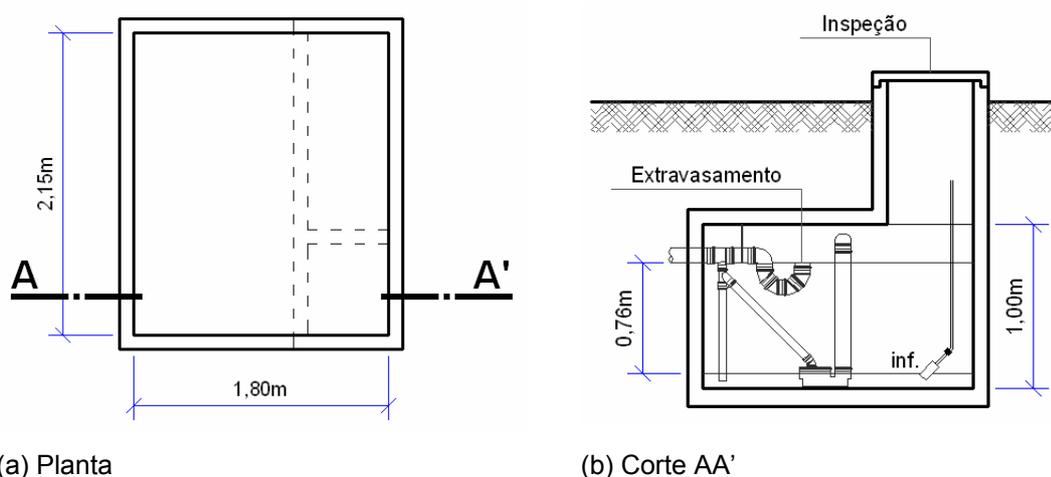
Figura 31. Fachadas leste e oeste da Casa Eficiente.

3.1.3. Reservatórios de armazenamento de água pluvial

O sistema de distribuição de água pluvial da Casa Eficiente é do tipo indireto. Dois reservatórios fazem parte do sistema, um inferior e outro superior. O reservatório inferior localiza-se externamente a edificação, abaixo do nível do terreno, e foi construído em concreto armado. Uma chave de nível com bóia flutuante e contrapeso é utilizada para comandar a motobomba que recalca água para o reservatório superior. Quando a bóia atinge o limite inferior⁴, o

⁴ O limite inferior da chave bóia corresponde a um nível de água de aproximadamente 10cm em relação ao fundo do reservatório.

contato da chave é interrompido impossibilitando o funcionamento da motobomba. A diferença de nível entre esse limite e a tubulação de extravasamento do reservatório é de 76cm, como mostra a Figura 32. Desse modo, o volume útil do reservatório inferior é de 2.941 litros. O limite superior da chave de nível encontra-se posicionado um pouco acima do limite inferior, a fim de possibilitar o recalque de água pluvial quando há um pequeno volume disponível no reservatório inferior (aproximadamente 650 litros).



(a) Planta

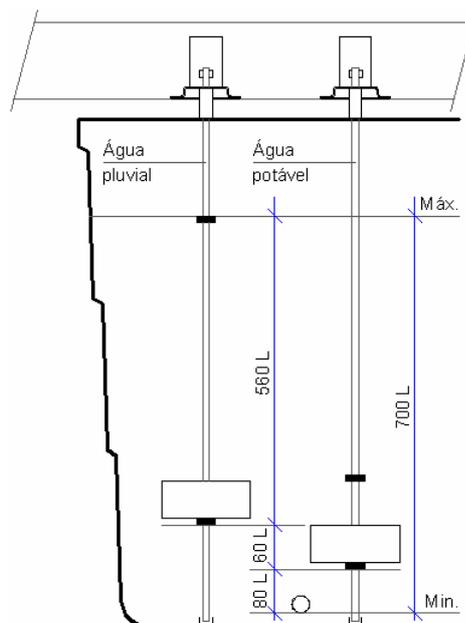
(b) Corte AA'

Figura 32. Dimensões do reservatório inferior de água pluvial.

No mezanino da residência, sob a cobertura, encontra-se posicionado o reservatório superior de água pluvial, confeccionado em fibra de vidro, com capacidade total de 1.000 litros e volume útil de 700 litros. Duas chaves de nível são utilizadas para possibilitar o abastecimento desse reservatório (Figura 33a). Uma delas, instalada em série com a chave de nível do reservatório inferior, possibilita o recalque de água pluvial para o reservatório superior. Quando não há água em quantidade suficiente no reservatório inferior, uma válvula solenóide controlada por uma segunda chave de nível permite que um volume de aproximadamente 60 litros de água potável seja liberado neste reservatório. Os limites das chaves estão situados em cotas diferentes, como mostra a Figura 33b.



(a) Vista das chaves de nível



(b) Cotas dos delimitadores

Figura 33. Detalhes das chaves de nível do reservatório superior de água pluvial.

3.2. Coleta e tratamento preliminar de dados

A seguir é apresentado o método aplicado para a coleta e tratamento preliminar de dados.

3.2.1. Período de aquisição de dados e ocupação da edificação

O monitoramento do sistema de aproveitamento de água pluvial ocorreu em quatro períodos distintos, abrangendo meses de 2007, 2008 e 2009, totalizando 196 dias, como mostra a Tabela 22. A coleta de dados em um único período ininterrupto foi inviabilizada devido à perda de dados de consumo de água potável e pluvial, nos meses de março, maio e junho de 2008. Os dois últimos períodos monitorados não formam um único período, pois há diferenças na demanda de água pluvial como será mostrado no item 3.2.3.

Tabela 22. Período de monitoramento e coleta de dados na Casa Eficiente.

Período	Data de início	Data de término	Número de dias
1	3 de dezembro de 2007	1 de março de 2008	90
2	5 de abril de 2008	8 de maio de 2008	34
3	2 de novembro de 2008	12 de dezembro de 2008	41
4	13 de dezembro de 2008	12 de janeiro de 2009	31

A Casa Eficiente possui dois dormitórios e foi projetada para quatro pessoas. É aberta a visitantes todos os meses durante uma quinzena, e disponibilizada para a realização de pesquisas em outra quinzena, não sendo possível ocupá-la continuamente. Nas quinzenas de visitação, de segunda a sexta-feira, duas recepcionistas permanecem na residência em horário comercial e uma servente de limpeza pela manhã. Nos domingos e feriados não há ocupação. Nas quinzenas reservadas para a realização de experiências *in loco*, pesquisadores da UFSC utilizam a edificação e a ocupação não segue um padrão pré-estabelecido.

Previamente à realização deste trabalho, verificou-se que o consumo de água para fins não potáveis na Casa Eficiente, restringe-se a volumes de no máximo 50 litros por dia, sendo inexistente na maioria dos finais de semana e feriados. De modo semelhante, o consumo de água para fins potáveis também é baixo, visto que o chuveiro, aparelho onde normalmente se consome água em grande quantidade, não é utilizado. Devido a isto, e também a variabilidade na ocupação da edificação, foi necessário intervir na demanda de água pluvial, durante o período de coleta de dados, simulando a permanência constante de quatro moradores.

3.2.2. Demanda de água potável

Na revisão bibliográfica, mostrou-se que a demanda de água potável média no estado de Santa Catarina varia de 122 a 133 litros *per capita* por dia, com média de 129 litros *per capita* por dia no período 2001-2005. Em Florianópolis, a demanda de água potável é um pouco superior à demanda do estado, variando de 118 a 164 litros *per capita* por dia, com média de 151 litros *per capita* por dia no período 2001-2005. Neste trabalho, foi considerada demanda de 150 litros *per capita* por dia, apenas como referencial para o cálculo da demanda diária de água pluvial.

3.2.3. Intervenção na demanda de água pluvial

De acordo com Fewkes (1999a), a utilização de um valor médio para a demanda de água pluvial não afetou a precisão dos resultados obtidos com a validação do algoritmo YAS. No entanto, Roebuck e Ashley (2006) apontam como uma falha nos métodos de dimensionamento de reservatório, a adoção de demandas médias de água na avaliação de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

Conforme mostrado no capítulo anterior, os usos finais de água para as atividades que não necessitam de água potável, no caso de edificações residenciais brasileiras, variou entre 19% e 55%.

Em estudos com o algoritmo do programa Netuno, o máximo potencial de economia de água potável que pode ser alcançado em uma edificação é numericamente igual à demanda de água pluvial (em percentagem). Nesses estudos verifica-se que, em boa parte das vezes, para uma mesma área de captação, mesmo volume de reservatório e demanda de água potável, quanto menor é a demanda de água pluvial, mais próximo dessa demanda é o potencial de economia de água potável. Assim, mostrou-se conveniente adotar elevadas demandas de água pluvial no processo de validação, objetivando uma melhor interpretação dos resultados obtidos. Portanto, neste trabalho, foram consideradas demandas de água pluvial variando de 40% a 150% da demanda de água potável, como mostra a Tabela 23.

Tabela 23. Demanda de água pluvial por período de monitoramento.

Período	Demanda de água pluvial (% da demanda de água potável)
1	40 a 50
2	40 a 50
3	100
4	150

Para simular a demanda de água pluvial na Casa Eficiente, diariamente foi descartado o volume correspondente a essa demanda através de um ponto de consumo de água pluvial (torneira do tanque ou torneira externa). Na maioria

das vezes, o descarte ocorreu à tarde ou no início da noite, em um único momento⁵, sempre que possível no mesmo horário. O volume de água descartado era aleatório ou fixo, dependendo da faixa de variação da demanda de água pluvial. Sua determinação foi efetuada através da medição do tempo de abertura do dispositivo utilizado, conhecendo-se a vazão do mesmo. Para tal, verificou-se *in loco* a vazão desse dispositivo, através de um recipiente de volume conhecido e de um cronômetro. A partir dessa vazão foi calculado o tempo de abertura do dispositivo utilizado por meio da Eq. 3.1.

$$T_a = \frac{D_{ap} \times D \times n}{Q} \quad (3.1)$$

Onde:

T_a é o tempo de abertura diário do dispositivo (min);

D_{ap} é a demanda diária de água pluvial (adimensional; % da demanda de água potável);

D é a demanda diária de água potável (litros *per capita*/dia);

n é o número de moradores da residência; adotado igual a quatro para a Casa Eficiente;

Q é a vazão do dispositivo para abertura plena (l/min).

O produto $D_{ap} \times D \times n$ representa a demanda diária de água pluvial em litros.

Além do volume descartado diariamente, constatou-se outros acréscimos de consumo em decorrência da ocupação variável da residência. Neste caso, nenhuma intervenção foi realizada, visto que isto resultou apenas em uma ampliação da faixa da demanda de água pluvial.

⁵ O descarte de água pluvial em um único momento do dia não afetou as estimativas do potencial de economia de água potável, porque este procedimento é semelhante ao que acontece nos cálculos realizados pelo algoritmo do programa Netuno.

3.2.4. Consumo de água potável

O consumo de água potável para qualquer intervalo de tempo considerado, foi calculado através do somatório dos volumes medidos pelos hidrômetros H_3 e H_4 (Figura 24), acrescido do consumo de água potável utilizado para complementar a demanda de água pluvial, como mostra a Eq. 3.2.

$$C_{\text{pot}} = C_{H_3} + C_{H_4} + C_{\text{pp}} \quad (3.2)$$

Onde:

C_{pot} é o consumo de água potável (litros);

C_{H_3} é o volume de água potável medido pelo hidrômetro H_3 (litros);

C_{H_4} é o volume de água potável medido pelo hidrômetro H_4 (litros);

C_{pp} é o consumo de água potável utilizado para complementar a demanda de água pluvial (litros); obtido através do fluxograma da Figura 34.

O consumo de água potável utilizado para complementar a demanda de água pluvial (C_{pp}) não pode ser obtido diretamente do hidrômetro H_2 . Isto se deve ao fato de que nem sempre todo o volume registrado por esse hidrômetro é necessariamente consumido no intervalo de tempo considerado. Além disso, em um mesmo momento podem estar sendo consumidas água potável e água pluvial para suprir a demanda de água pluvial. Por esse motivo, elaborou-se um fluxograma para obtenção do C_{pp} para qualquer intervalo de tempo considerado, como mostra a Figura 34; onde, as siglas identificadas equivalem, respectivamente, a:

C_{H_2} é o volume de água potável medido pelo hidrômetro H_2 (litros);

V_{pot} é o volume de água potável armazenado no reservatório superior no intervalo de tempo imediatamente anterior (litros);

C_{H_R} é o volume de água pluvial medido pelo hidrômetro H_R (litros);

V_{pluv} é o volume de água pluvial armazenado no reservatório superior no intervalo de tempo imediatamente anterior (litros);

D_{apluv} é o volume de água utilizado para fins não potáveis medido pelo hidrômetro H_1 (litros); cujo valor é numericamente igual à demanda de água pluvial em litros.

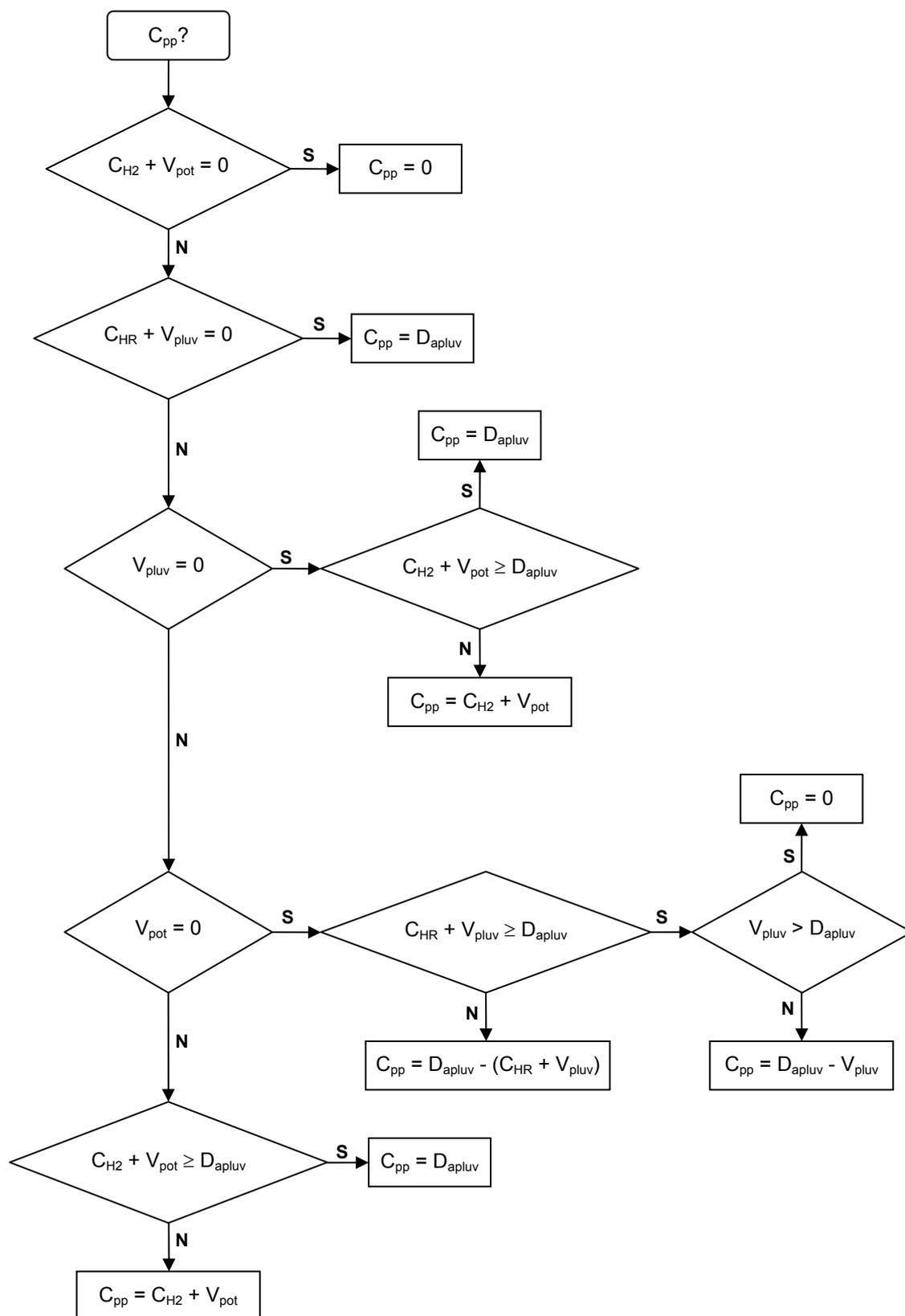


Figura 34. Fluxograma para obtenção do consumo de água potável utilizado para complementar a demanda de água pluvial.

3.2.5. Consumo de água pluvial

O consumo de água pluvial para qualquer intervalo de tempo considerado, foi calculado subtraindo-se da demanda de água pluvial, o consumo de água potável utilizado para complementar essa demanda, como representa a Eq. 3.3.

$$C_{\text{pluv}} = D_{\text{apluv}} - C_{\text{pp}} \quad (3.3)$$

Onde:

C_{pluv} é o consumo de água pluvial (litros);

D_{apluv} é o volume de água utilizado para fins não potáveis medido pelo hidrômetro H_1 (litros);

C_{pp} é o consumo de água potável utilizado para complementar a demanda de água pluvial (litros).

3.2.6. Precipitação pluviométrica

Para atingir os objetivos deste trabalho, foram obtidos dados de precipitação pluviométrica de quatro estações meteorológicas localizadas em Florianópolis, além dos índices determinados através da estação da Casa Eficiente. O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) disponibilizou dados da estação automática e da estação convencional, ambas instaladas em um mesmo local na parte continental da cidade. De forma semelhante, a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) forneceu dados de duas estações operadas em conjunto com a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Uma das estações é automática e está localizada junto à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) no centro de Florianópolis; e a outra é do tipo convencional e fica situada na Estação de Tratamento de Água (ETA) da Lagoa do Peri. A Figura 35 ilustra a localização das estações em relação à Casa Eficiente.



Figura 35. Distribuição das estações meteorológicas em relação à Casa Eficiente.

A estação automática do INMET é da marca Vaisala e foi calibrada pela última vez em junho de 2007, data próxima ao início desta pesquisa. O pluviômetro utilizado possui características aerodinâmicas especiais para minimizar o efeito do vento na redução da coleta de água (VAISALA, 2009). Sua resolução é de 0,20mm e a incerteza do medidor é inferior a $\pm 1\%$ para intensidade de precipitação de 24mm/h. A estação automática ETE/EPAGRI/CASAN possui um pluviômetro produzido pela própria EPAGRI, denominado PEP, cujo diâmetro do funil (198mm) e princípio de funcionamento (sensor *reed-switch*) são semelhantes aos dos pluviômetros da Casa Eficiente e da estação automática do INMET. A Tabela 24 apresenta informações complementares relativas às estações meteorológicas estudadas.

Tabela 24. Informações complementares sobre as estações meteorológicas do INMET e da EPAGRI/CASAN

Estação meteorológica	Base de dados	Latitude	Longitude	Altitude	Pluviômetro	
					Marca/modelo	Resolução
Automática INMET	Horária	27°36'00"	48°37'00"	1,80m	VAISALA/QMR102	0,20mm
Convencional INMET	Diária	-	-	1,84m	-	0,10mm
Automática ETE EPAGRI/CASAN	Horária	27°36'00"	48°33'21"	5,00m	EPAGRI/PEP	0,20mm
Convencional ETA EPAGRI/CASAN	Diária	27°43'00"	48°30'00"	1,75m	-	0,10mm

Dados de precipitação fornecidos em base de tempo universal, ou seja, com referência ao Meridiano de Greenwich, foram ajustados para o horário de Brasília, considerando o horário de verão quando aplicável. No caso de dados ausentes por curtos intervalos de tempo (algumas horas ou um dia), estes foram assumidos como sendo zero. No item 3.5 são apresentados os demais procedimentos para tratamento destes dados, visando atingir o último objetivo específico do presente trabalho.

3.2.7. Coeficiente de aproveitamento de água pluvial

Na revisão bibliográfica, mostrou-se que o coeficiente de aproveitamento é um índice adimensional utilizado para representar o volume aproveitável de água após o desvio de escoamento inicial, descarte de folhas e detritos e, também, as perdas por absorção e evaporação da água pluvial ao atingir a superfície de captação. Portanto, esse coeficiente expressa todas as perdas que podem ocorrer no volume captado, antes do armazenamento no reservatório de água pluvial.

O coeficiente de aproveitamento é a razão entre o volume aproveitável e o volume captado de água pluvial. Pode-se determinar o seu valor, para qualquer intervalo de tempo, através da Eq. 3.4. O produto $P \times A$ representa o volume captado de água pluvial (em litros).

$$C_p = \frac{V_{ap}}{P \times A} \quad (3.4)$$

Onde:

C_p é o coeficiente de aproveitamento de água pluvial (adimensional);

V_{ap} é o volume aproveitável de água pluvial no intervalo de tempo considerado (litros); obtido através da Eq. 3.6;

P é a precipitação pluviométrica (mm = litros/m²);

A é a área de captação (m²).

Como não existe instrumento e/ou dispositivo que possibilite a medição direta do volume captado de água pluvial na edificação estudada, seu valor foi

determinado através da precipitação pluviométrica, obtida na estação meteorológica local, e da área de captação.

Nos dois últimos períodos da coleta de dados, houve falhas no sistema de alimentação de energia da estação meteorológica da Casa Eficiente. Isto ocasionou o armazenamento incompleto de dados de precipitação, impossibilitando a avaliação do volume captado de água pluvial. Averiguou-se então a possibilidade de utilização de dados de outra estação, cujo volume total precipitado nos dois primeiros períodos da pesquisa fosse próximo ao verificado na estação da Casa Eficiente. A análise realizada consistiu em verificar se havia simultaneidade entre a precipitação horária da estação escolhida e as variações de nível no reservatório inferior de água pluvial. Como isso não foi constatado, não foi possível determinar o volume captado de água pluvial e o coeficiente de aproveitamento nos dois últimos períodos da pesquisa. Desse modo, nas análises onde o conhecimento dessa variável é imprescindível, utilizou-se o valor do coeficiente de aproveitamento estimado pela Eq. 3.8 - baseado nos dados dos períodos iniciais de monitoramento.

3.2.7.1. Área de captação

O coeficiente de aproveitamento, *a priori*, deve assumir valores inferiores ou no máximo iguais a um, dependendo da área de captação utilizada no seu cálculo. No entanto, isto nem sempre ocorre. Na validação do algoritmo YAS, por exemplo, observou-se coeficientes superiores à unidade (FEWKES, 1999a). Nesse estudo, assim como em outros sobre aproveitamento de água pluvial, verificou-se que é comum considerar a área de captação no plano horizontal; no entanto, esta consideração aparentava ser inadequada para este trabalho. Desse modo, além do cálculo da área de captação no plano horizontal, previa-se outras formas de determinação da área; considerando as superfícies no plano inclinado e, também, as áreas verticais das platibandas do telhado central da residência (Figura 31). No entanto, isto não foi necessário porque na maioria dos casos desta pesquisa, o coeficiente de aproveitamento é inferior a um, como será mostrado no próximo capítulo.

As dimensões dos telhados foram levantadas *in loco*, para possibilitar o cálculo da área de captação em projeção horizontal e, a partir deste valor, os demais cálculos do trabalho onde o conhecimento dessa variável é necessário.

3.2.7.2. Volume aproveitável de água pluvial

Na Casa Eficiente, não foi possível determinar o volume aproveitável de água pluvial para todos os eventos de chuva, devido à inexistência de instrumento e/ou dispositivo para medição do volume extravasado do reservatório inferior de água pluvial, quando este encontrava-se cheio. Portanto, em alguns casos o coeficiente de aproveitamento também não pode ser aferido.

Outro fator limitante para a avaliação do volume aproveitável de água pluvial advém da incerteza nas medições realizadas pelo transmissor de nível hidrostático. Conforme relatado anteriormente, a incerteza desse instrumento é de $\pm 0,25\%$ para o fundo de escala (2mca). Em termos absolutos, qualquer medida realizada pelo equipamento está sujeita a uma variação de $\pm 0,005\text{m}$. Dessa forma, alguns critérios foram definidos para utilizar os dados do transmissor nos cálculos deste trabalho, como será exposto a seguir.

O volume aproveitável de água pluvial pôde ser avaliado nas situações em que, no intervalo de tempo definido para as simulações, o nível de água no reservatório inferior não atingiu o nível de extravasamento - medida real equivalente a 0,852m da superfície de fundo do reservatório; mas, devido à incerteza do instrumento, adotada como 0,847m.

Para o cálculo do volume aproveitável de água pluvial, primeiramente, é necessário determinar a diferença entre os níveis de água no reservatório. Esta operação também é influenciada pela incerteza das leituras realizadas pelo transmissor de nível. Como as medidas efetuadas são diretas e as incertezas absolutas iguais, a incerteza resultante para a dedução dos níveis é igual para qualquer intervalo de tempo considerado, e foi avaliada através da Eq. 3.5 (E-FÍSICA, 2007).

$$\sigma_w = \sqrt{2\sigma_x^2} \quad (3.5)$$

Onde:

σ_w é a incerteza absoluta resultante (m);

σ_x é a incerteza absoluta do transmissor de nível hidrostático (m).

Conhecendo-se o resultado da Eq. 3.5, cujo valor é $\pm 0,007m$, e admitindo-se que este valor seja equivalente a uma incerteza relativa de no máximo 10%, determinou-se o volume aproveitável de água pluvial por meio da Eq. 3.6, somente para os casos onde a diferença $|N_f - N_i|$ foi igual ou superior a 0,07m, e desde que esta diferença não tenha sido originada por recalque de água pluvial para o reservatório superior.

$$V_{ap} = (N_f - N_i) \times A_r \times 1000 + C_{HR} \quad (3.6)$$

Onde:

V_{ap} é o volume aproveitável de água pluvial no intervalo de tempo considerado (litros);

N_f é o nível de água medido através do transmissor hidrostático no final do intervalo de tempo considerado (m);

N_i é o nível de água medido através do transmissor hidrostático no início do intervalo de tempo considerado (m);

A_r é a área útil (em planta) do reservatório inferior de água pluvial (m^2);

C_{HR} é o volume de água pluvial medido pelo hidrômetro H_R (litros).

Durante a determinação do volume aproveitável de água pluvial, notou-se que em alguns casos, após o término da chuva, havia acréscimo no volume de água do reservatório inferior. Essas quantidades, se não consideradas no cálculo do volume aproveitável de água, resultariam em coeficientes de aproveitamento menores. Consequentemente, quando da utilização do algoritmo do programa Netuno, haveria uma redução na simulação do volume armazenado de água pluvial, podendo influenciar também em decréscimos no volume consumido de água pluvial e no potencial de economia de água potável. Para minimizar esses erros, adicionou-se o volume acrescido na hora

imediatamente posterior ao término da chuva, ao volume aproveitável de água pluvial na hora de término de cada precipitação.

Nos casos em que não foi possível avaliar o coeficiente de aproveitamento, foram feitas estimativas do seu valor através de procedimento estatístico. Para tal, verificou-se inicialmente, se havia algum valor espúrio entre os obtidos para o coeficiente de aproveitamento. A análise foi realizada para os valores suspeitos mais distantes da média, para um nível de significância de 5%, de acordo com o método expresso pela Eq. 3.7. Se o resultado obtido por esta equação era superior ao fornecido pela *tabela de valores extremos* (PRUDÊNCIO, 2002), o valor suspeito foi considerado espúrio e desconsiderado da análise.

$$r_i = \frac{|x - \bar{x}|}{S} \quad (3.7)$$

Onde:

- r_i é o valor do resíduo (adimensional);
- x é um valor suspeito da amostra (adimensional);
- \bar{x} é a média dos valores da amostra (adimensional);
- S é o desvio padrão dos valores da amostra (adimensional).

Na sequência, verificou-se através do teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, se os valores obtidos para o coeficiente de aproveitamento aderiam a uma distribuição normal de probabilidades. Como isso foi comprovado, adotou-se como estimativa para o coeficiente de aproveitamento o resultado obtido através da Eq. 3.8. A probabilidade de ocorrência de valores menores do que os calculados através dessa equação é de apenas 5%, para uma confiabilidade de 95%.

$$C_{pe} = C_{pm} - 1,645 \times S_{cp} \quad (3.8)$$

Onde:

- C_{pe} é o coeficiente de aproveitamento estimado (adimensional);

C_{pm} é o coeficiente de aproveitamento médio, obtido através dos valores determinados pela Eq. 3.4 (adimensional);

S_{cp} é o desvio padrão do coeficiente de aproveitamento médio (adimensional).

3.3. Avaliação do potencial e da economia de água potável

A avaliação do potencial de economia de água potável estimado frente à economia de água potável obtida através da utilização de água pluvial, para fins não potáveis na residência estudada, é fundamental no processo de validação do algoritmo do Netuno.

Nas simulações de desempenho do reservatório de água pluvial foram considerados intervalos de tempo horário e diário, e todos os cálculos foram realizados para o horário de Brasília. Os dados utilizados nas análises foram obtidos na Casa Eficiente e tratados previamente de acordo com os procedimentos descritos no item 3.2. A avaliação do potencial e da economia de água potável foi realizada considerando dois modos distintos, para permitir uma análise minuciosa dos resultados. No primeiro modo, os dados coletados foram avaliados a cada semana, independentemente. Assim, pôde-se verificar a desigualdade semanal entre o potencial de economia estimado e a economia de água potável efetiva. No segundo modo, os dados coletados foram acumulados a cada 7 dias; portanto, obteve-se resultados para 7 dias, 14 dias, 21 dias e assim sucessivamente, até o término de cada período monitorado. Desta forma, pôde-se verificar a influência de valores extremos obtidos através do primeiro modo de avaliação, nos potenciais e economias de água potável acumulados ao longo do tempo.

3.3.1. Potencial de economia de água potável

No algoritmo original do programa Netuno, o consumo de água pluvial do reservatório ocorre depois da chuva. Essa condição pode ser inadequada para alguns casos. Desse modo, uma versão modificada do algoritmo é proposta

neste trabalho, considerando o consumo de água pluvial do reservatório antes da chuva, como mostram as Figuras 36 e 37. As siglas identificadas nos fluxogramas equivalem a:

- V_R é o volume de água pluvial armazenado no reservatório (litros);
- V_C é o volume de água pluvial consumido (litros);
- V_{RA} é o volume de água pluvial armazenado no reservatório no intervalo de tempo imediatamente anterior (litros);
- V_{ap} é o volume aproveitável de água pluvial (litros); obtido por meio da Eq. 2.1;
- V_T é o volume útil do reservatório (litros);
- D_{apluv} é a demanda de água pluvial (litros).

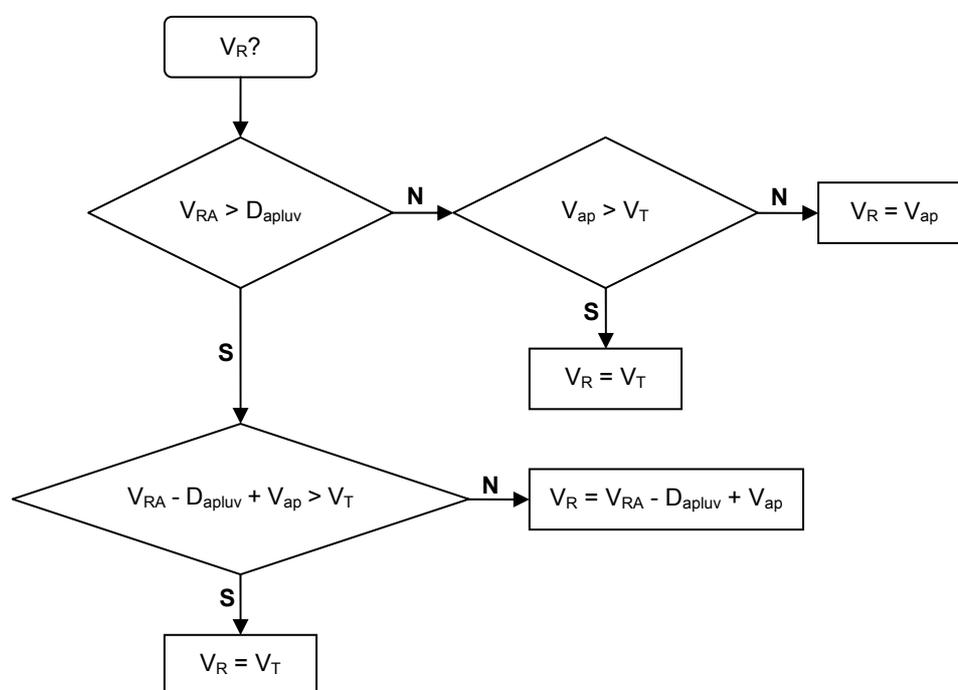


Figura 36. Algoritmo modificado do programa Netuno para obtenção do volume de água pluvial armazenado no reservatório.

Analisando a Figura 36, é possível verificar que o volume de água pluvial armazenado em qualquer intervalo de tempo, pode atingir o volume útil do reservatório, ao contrário do que ocorre no algoritmo original. Com relação ao volume de água pluvial consumido (V_C), ele é limitado ao volume de água pluvial armazenado no reservatório no intervalo de tempo imediatamente anterior ao considerado.

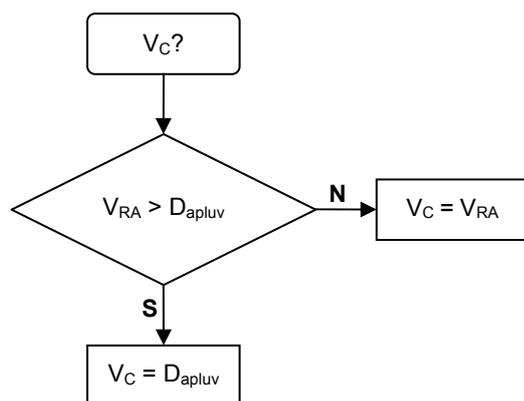


Figura 37. Algoritmo modificado do programa Netuno para obtenção do volume de água pluvial consumido.

Da mesma forma como é feito no algoritmo original, o potencial de economia de água potável é calculado através da relação entre o volume total de água pluvial consumido durante todo o período analisado e a demanda total de água potável para o mesmo período, conforme representa a Eq. 2.12 no segundo capítulo.

As estimativas do potencial de economia de água potável foram realizadas com os dois algoritmos do programa Netuno (original e modificado). Para isso, utilizou-se: cada um deles, separadamente, em planilha eletrônica; os dados coletados após o devido tratamento; a precipitação obtida na estação da Casa Eficiente para os dois períodos iniciais de monitoramento; e a precipitação da estação automática do INMET para os dois períodos finais de monitoramento.

No algoritmo original e no modificado, a demanda de água pluvial (D_{aplUV}) foi substituída pelo volume de água medido no hidrômetro H_1 (litros), cujo valor é numericamente igual à essa demanda; e o produto $D \times n \times d$ (demanda de água potável no período analisado) foi substituído pelo somatório do consumo de água potável (C_{pot}), obtido através da Eq. 3.2, com o consumo de água pluvial (C_{pluv}), obtido através da Eq. 3.3, para o período analisado. O coeficiente de aproveitamento (C_p) foi substituído pelo valor calculado através da Eq. 3.4, nos casos em que foi possível determiná-lo, ou pelo valor da Eq. 3.8, nos demais casos.

As simulações foram realizadas considerando o volume útil do reservatório inferior de água pluvial e a área de captação projetada no plano horizontal.

Além das estimativas do potencial de economia de água potável realizadas com os dados efetivos obtidos na Casa Eficiente, outras avaliações do potencial de economia foram efetuadas considerando as demandas médias de água potável e pluvial de cada período monitorado, e o coeficiente de aproveitamento médio. As estimativas foram realizadas para os dois algoritmos (original e modificado), utilizando-se a precipitação obtida na estação da Casa Eficiente para os dois períodos iniciais de monitoramento e a precipitação da estação automática do INMET para os dois períodos finais de monitoramento. Considerou-se também, o volume útil do reservatório inferior de água pluvial e a área de captação projetada no plano horizontal.

3.3.2. Economia de água potável

A economia de água potável foi determinada através da relação entre o consumo total de água pluvial durante cada período analisado e o consumo total de água potável e pluvial para o mesmo período, conforme representa a Eq. 3.9.

$$E = 100 \times \frac{\sum_{i=1}^j C_{pluv}}{\sum_{i=1}^j (C_{pot} + C_{pluv})} \quad (3.9)$$

Onde:

E é a economia de água potável obtida através do aproveitamento de água pluvial (%);

j é o número de horas ou dias da semana ou do período acumulado; depende do modo de avaliação adotado (item 3.3) e do intervalo de tempo utilizado na simulação (se horário ou diário);

C_{pluv} é o consumo de água pluvial (litros); obtido através da Eq. 3.3;

C_{pot} é o consumo de água potável (litros); obtido através da Eq. 3.2.

Nos somatórios representados na Eq. 3.9, a variável 'i=1' foi assumida como sendo a primeira hora ou dia de cada semana analisada, no caso das avaliações semanais independentes mencionadas no início do item 3.3, ou como sendo a primeira hora ou dia do período com um todo, no caso das avaliações com dados semanais acumulados. Procedimentos idênticos a estes foram adotados nas avaliações do potencial de economia de água potável através da Eq. 2.12.

3.3.3. Comparações

As comparações entre os potenciais de economia estimados pelos algoritmos do programa Netuno e as economias de água potável obtidas na Casa Eficiente foram realizadas de forma independente, para cada modo de avaliação (semanal individual e semanal acumulado) e intervalo de tempo (horário e diário) definido para as simulações. As análises realizadas no próximo capítulo são baseadas nas diferenças absolutas entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável obtidas na Casa Eficiente.

3.4. Verificação do intervalo de tempo mais adequado para estimar o potencial de economia de água potável

Fewkes (1999a) indicou que a utilização de dados horários na validação do algoritmo YAS, não resultou em um aumento significativo de precisão na estimativa de desempenho do reservatório de água pluvial. Mesmo assim, em um outro trabalho, o autor recomendou a análise da fração de armazenamento (Eq. 2.21) para definição do intervalo de tempo a ser utilizado em simulações comportamentais. Essa recomendação pode ser imprópria para edificações localizadas no Brasil, uma vez que o estudo foi realizado para Nottingham, no Reino Unido, onde a precipitação pluviométrica anual média é bem inferior à média brasileira de 1.797mm (ANA, 2005b).

Diante disso, as simulações de desempenho dos reservatórios de água pluvial foram realizadas para dados em base horária e diária, conforme definido anteriormente no item 3.3. Os potenciais de economia preditos através dessas simulações foram comparados com a economia de água potável obtida na Casa Eficiente, a fim de possibilitar a verificação do intervalo de tempo mais adequado a ser adotado em novas simulações com o programa Netuno.

3.5. Avaliação da influência de diferentes índices pluviométricos no potencial de economia de água potável

A rede de monitoramento climático do Brasil é ampla. Apenas a Agência Nacional de Águas possui 4.341 estações meteorológicas, das quais cerca de 2.500 são pluviométricas (ANA, 2006). Todavia, alguns municípios brasileiros não são atendidos por essa rede ou possuem períodos de registro das variáveis climáticas relativamente curtos. Além do exposto, em cidades de grande extensão territorial, como é o caso de Florianópolis, o regime pluviométrico pode variar de um local para outro. Torna-se necessário, portanto, avaliar a influência de índices pluviométricos obtidos em outras estações meteorológicas da região no potencial de economia de água potável.

Após a definição do intervalo de tempo mais adequado para estimar o potencial de economia de água potável, novas simulações foram realizadas com os algoritmos do programa Netuno. Nesses cálculos, foram utilizados os dados das estações meteorológicas relacionadas na Tabela 24. No caso das estações convencionais, cuja base de dados é diária e a totalização da precipitação não coincide com o horário de Brasília, foi necessário adequar as demais variáveis envolvidas nas simulações. A adequação consistiu em acumular, individualmente, os dados do consumo de água potável e pluvial, e a demanda de água pluvial, verificadas nas 24 horas anteriores ao horário em que foram obtidos os índices de precipitação de cada estação.

4. Resultados

Finalizada a etapa de monitoramento do sistema de aproveitamento de água pluvial da Casa Eficiente, aplicou-se o método detalhado no terceiro capítulo para obter os resultados utilizados na validação do algoritmo do programa Netuno. As análises a seguir apresentadas são baseadas nesses resultados de acordo com a seguinte sequência:

- Coleta e tratamento preliminar de dados;
- Avaliação do potencial de economia de água potável estimado e da economia efetivamente obtida na Casa Eficiente;
- Avaliação da influência de diferentes índices pluviométricos no potencial de economia de água potável.

4.1. Coleta e tratamento preliminar de dados

O monitoramento e a coleta de dados na Casa Eficiente ocorreu em quatro períodos distintos, conforme indicado na Tabela 22. Para cada período analisado, serão mostrados os resultados para a demanda de água pluvial, consumo de água potável e pluvial, precipitação pluviométrica e o coeficiente de aproveitamento de água pluvial.

4.1.1. Demanda de água pluvial

A Figura 38 mostra os dispositivos desenvolvidos para descartar o volume de água equivalente à demanda diária de água pluvial na Casa Eficiente. No período 1, o descarte foi realizado na torneira externa, de forma presencial⁶, com o auxílio de um balde acoplado a uma mangueira (Figura 38a), cuja função era conduzir o volume descartado para o sistema de tratamento de água cinza.

⁶ Descarte realizado por um pesquisador do Laboratório de Monitoramento Bioclimático e de Eficiência Energética da Casa Eficiente.



(a) Torneira externa



(b) Torneira do tanque

Figura 38. Dispositivos utilizados para o descarte da demanda de água pluvial.

Nos demais períodos, um outro dispositivo foi desenvolvido para possibilitar a automatização do descarte de água (Figura 38b). Trata-se de uma tubulação, interligada à coluna de água do tanque, onde está instalada uma válvula solenóide controlada por um interruptor horário digital. Durante o monitoramento, o interruptor foi programado para abrir a válvula solenóide diariamente às 18h, e para fechá-la após o tempo de abertura indicado para cada período monitorado na Tabela 25.

Tabela 25. Tempo de abertura diário do dispositivo utilizado para simular a demanda de água pluvial.

Período	Demanda diária de água pluvial (litros)	Vazão do dispositivo (litros/minuto)	Tempo de abertura (minutos)
1	240 a 300	13,5	18 a 22
2	240 a 300	12,9	19 a 23
3	600	12,9	47
4	900	12,9	70

As demandas de água pluvial demonstradas na Tabela 25 serviram como referencial para determinar o tempo de abertura diário do dispositivo de descarte. No entanto, os valores efetivos da demanda podem ser maiores ou menores que esses, porque dependem da vazão de realimentação de água potável do reservatório superior de água pluvial e, também, de acréscimos em decorrência da ocupação variável da residência. Com relação à vazão de realimentação, seu valor pode atingir 8,1 litros/minuto; inferior, portanto, à vazão dos dispositivos de descarte. Como consequência, há redução no volume descartado de água, cujo valor é numericamente igual à demanda de

água pluvial efetiva, nos momentos em que não se dispõe de água pluvial nos reservatórios.

As Figuras 39 a 41 apresentam a demanda diária de água pluvial para os quatro períodos monitorados. É possível notar que, na maioria das vezes, houve continuidade no descarte de água, sendo poucos os dias em que não se cumpriu a metodologia, quando se leva em conta os 196 dias analisados.

Nos dois períodos iniciais, a demanda média de água pluvial situou-se dentro da faixa de variação estabelecida previamente, perfazendo 279 e 293 litros/dia, respectivamente, para os períodos 1 e 2. Todavia, em 5 dos 90 dias avaliados na primeira etapa, não houve descarte de água, e em outros 14 dias, os volumes descartados foram levemente inferiores ao valor mínimo estabelecido.

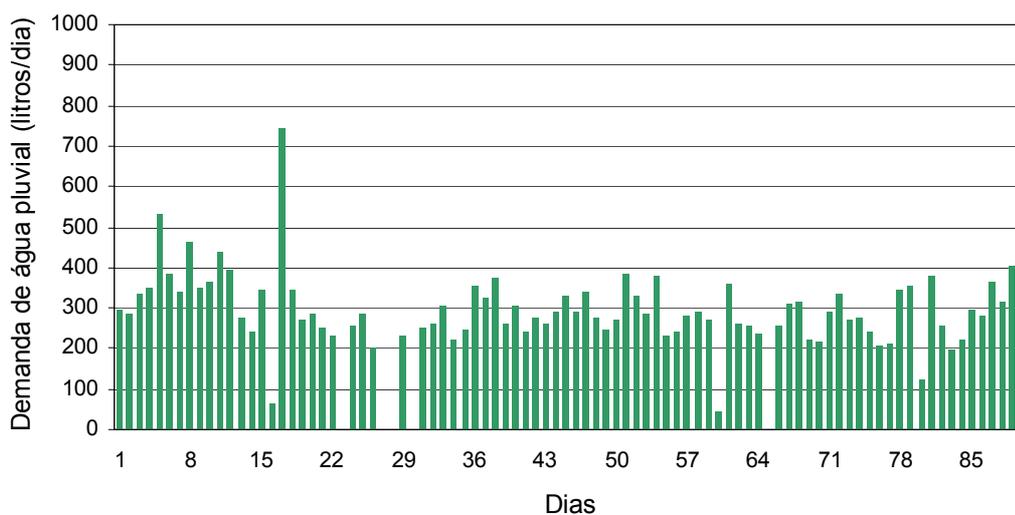


Figura 39. Demanda diária de água pluvial no período 1.

Para avaliar a eficiência dos algoritmos em situações extremas, ou seja, quando não se dispõe de água pluvial em quantidade suficiente para atender integralmente a demanda dessa água, elevou-se o tempo de descarte. Isto resultou em um aumento na demanda de água pluvial, como mostram as Figuras 40b e 41.

No terceiro período, a demanda média de água pluvial atingiu 607 litros/dia. Analisando a Figura 40b, pode-se perceber que em alguns dias, no início e no

final desse período, as demandas foram inferiores a 600 litros/dia. Nessas ocasiões, não havia água pluvial disponível no reservatório inferior, como será mostrado mais adiante na Figura 58b. Portanto, a demanda de água de pluvial foi atendida com água potável oriunda do sistema de realimentação do reservatório superior.

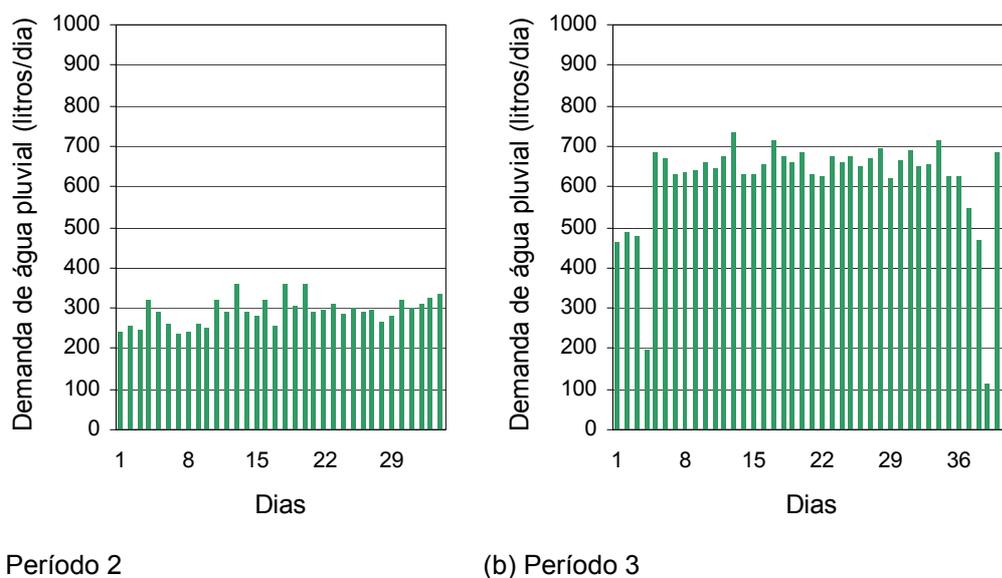


Figura 40. Demanda diária de água pluvial nos períodos 2 e 3.

As maiores demandas de água pluvial ocorreram no último período de monitoramento, como apresenta a Figura 41. No sétimo dia, por exemplo, foram descartados 963 litros de água. Por outro lado, a demanda média foi de apenas 624 litros/dia, valor bem inferior ao estabelecido na Tabela 25. As razões para isto, são semelhantes às expostas no parágrafo anterior, ou seja: ausência de água pluvial no reservatório inferior em parte do período; atendimento da demanda de água pluvial com água potável do sistema de realimentação, cuja vazão é inferior à vazão de descarte do dispositivo utilizado para tal; e também, fechamento inadvertido⁷ de um registro de gaveta externo à edificação, impossibilitando o reabastecimento do reservatório superior de água pluvial com água potável, por seis dias alternados entre o natal e o ano novo de 2008.

⁷ De acordo com a Eletrosul, houve necessidade de fechamento do registro da tubulação que possibilita a alimentação de água potável da Casa Eficiente, para a substituição de uma torneira danificada, após recesso laboral entre o natal e o ano novo de 2008.

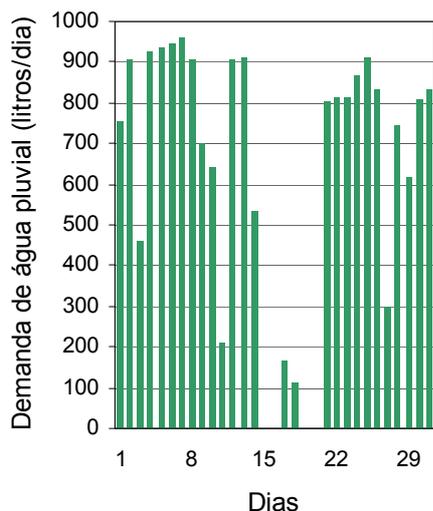


Figura 41. Demanda diária de água pluvial no período 4.

Diante do exposto, destaca-se que as alterações ocorridas no descarte de água, pouco influenciaram na demanda de água pluvial e nos demais resultados deste trabalho.

4.1.2. Consumo de água potável e pluvial

Mostrou-se no capítulo anterior que o consumo de água potável e de água pluvial são dependentes do consumo de água potável utilizado para complementar a demanda de água pluvial (C_{pp}). Para obtenção deste consumo, fez-se uso do fluxograma da Figura 34, levando-se em conta o volume e o tipo de água existente no reservatório superior de água pluvial previamente ao início de cada período monitorado, conforme os dados da Tabela 26.

Tabela 26. Volume e tipo de água existente no reservatório superior de água pluvial antes de cada período monitorado.

Período	Volume existente (litros)	Tipo de água
1	140	Potável
2	140	Pluvial
3	140	Potável
4	132	Potável

As Figuras 42 a 44 mostram, conjuntamente, o consumo diário de água pluvial e o consumo de água potável para complementar a demanda de água pluvial nos períodos monitorados. Para cada dia, o somatório das parcelas ilustradas

corresponde à demanda diária de água pluvial. Como se percebe, o consumo de água pluvial é elevado, evidenciando atendimento integral à demanda dessa água na maioria dos dias. Em alguns casos, pode-se verificar demandas de água pluvial inferiores às apresentadas na Tabela 25. Isto ocorre porque o tempo e/ou a vazão de descarte de água foi menor que os valores estabelecidos nessa tabela, e não por falta de água potável para complementar a demanda de água pluvial.

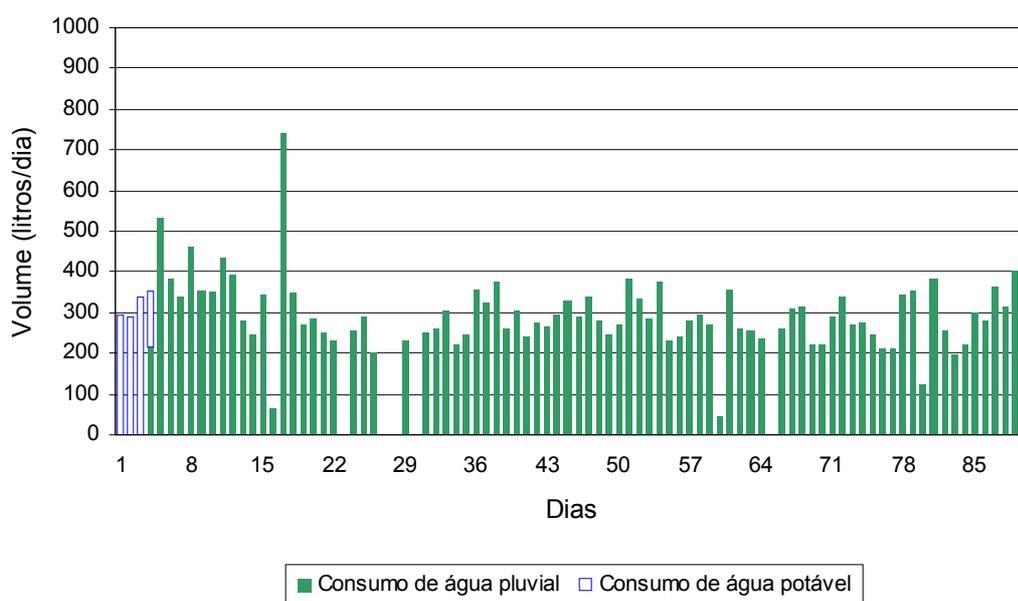


Figura 42. Consumo diário de água pluvial e de água potável para complementar a demanda de água pluvial no período 1.

A partir do primeiro dia do período 2 é possível verificar que há consumo de água potável para atender a demanda de água pluvial, até o décimo segundo dia dessa etapa. Em consonância com isto, observou-se baixa precipitação pluviométrica e reduzido nível de água no reservatório inferior de água pluvial nessas ocasiões.

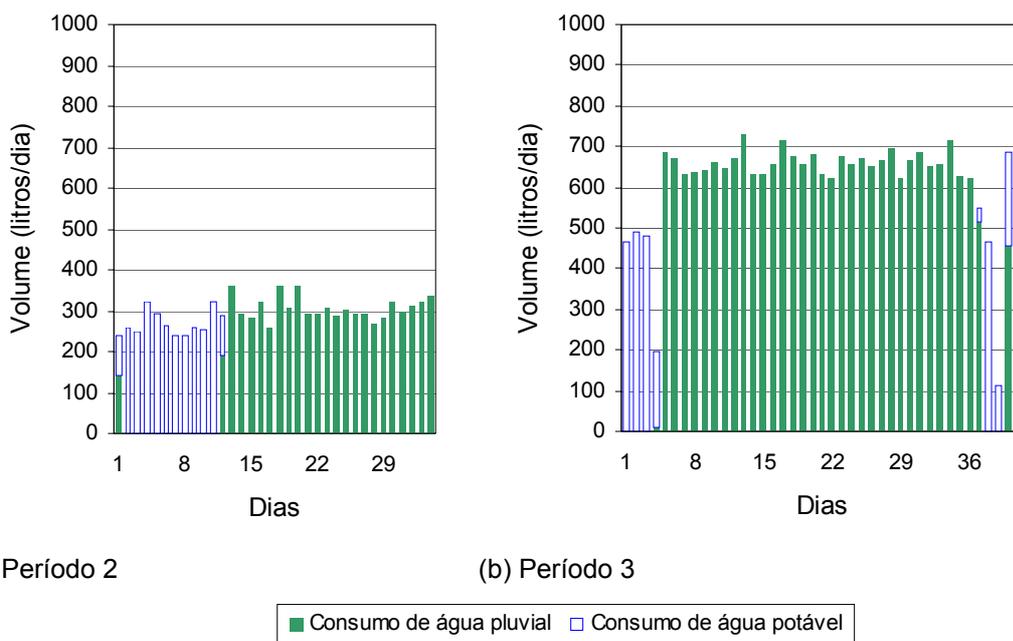


Figura 43. Consumo diário de água pluvial e de água potável para complementar a demanda de água pluvial nos períodos 2 e 3.

O quarto período avaliado possui o maior número de dias com atendimento parcial da demanda de água pluvial, como pode ser visualizado na Figura 44 e na Tabela 27. Em 8 dias, dos 31 dias avaliados nesse período, houve consumo de água potável para complementar a demanda de água pluvial. Isto equivale a 25,8%. Nas demais etapas, verifica-se atendimento integral da demanda em 95,6% do dias do período 1, e não atendimento da demanda, em 29,4% dos dias do período 2.

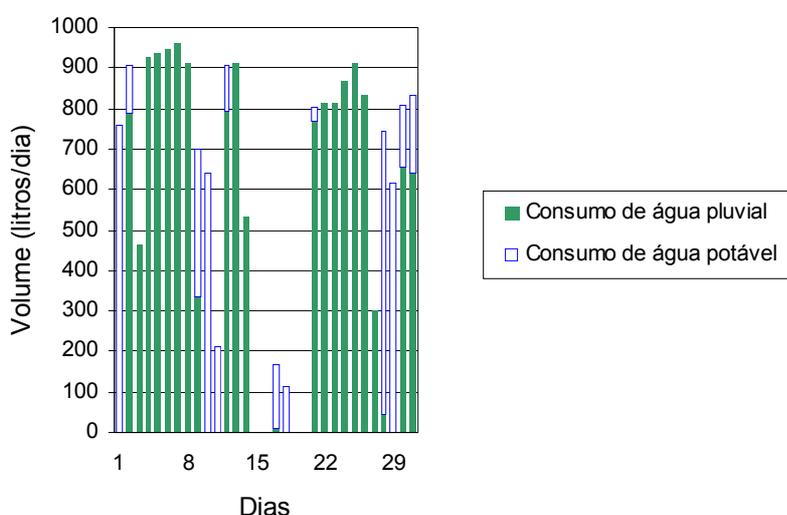


Figura 44. Consumo diário de água pluvial e de água potável para complementar a demanda de água pluvial no período 4.

Tabela 27. Número de dias em que houve atendimento à demanda de água pluvial.

Período	Atendimento integral	Atendimento parcial	Não atendimento
1	86 (95,6%)	1 (1,1%)	3 (3,3%)
2	22 (64,7%)	2 (5,9%)	10 (29,4%)
3	33 (80,5%)	3 (7,3%)	5 (12,2%)
4	18 (58,1%)	8 (25,8%)	5 (16,1%)

A variação observada no atendimento à demanda de pluvial é essencial para a validação do algoritmo do programa Netuno, porque reproduz diferentes condições de operação do sistema de aproveitamento de água pluvial. Pode-se dizer que os períodos 1 e 3 representam a operação do sistema em meses de precipitação crescente, como ocorre entre novembro e fevereiro em Florianópolis (Figura 10); e que o período 2, relativo ao mês de abril e parte de maio, representa o que ocorre quando há estiagens mais prolongadas. Notavelmente, o período 4 é o que apresenta mais alternância entre o consumo de água potável e pluvial, proveniente da elevada demanda de água pluvial e da disponibilidade de água no reservatório inferior.

Diariamente, além do volume de água potável utilizado para complementar a demanda de água pluvial, registrou-se os volumes consumidos para fins potáveis⁸ através dos hidrômetros H₃ e H₄. O somatório desses valores, resulta no consumo diário de água potável, como mostram as Figuras 45 a 47. Ressalta-se que não houve qualquer intervenção no consumo de água potável, exceto indiretamente para complementação da demanda de água pluvial.

No período 1, o consumo médio de água potável é de 94 litros/dia, seguido de 219 litros/dia no período 2, e 171 litros/dia no período 3. Os consumos elevados no segundo e terceiro períodos, devem-se, respectivamente, a complementação da demanda de água pluvial e a pesquisas realizadas com água potável aquecida para uso no chuveiro.

No quarto período, o consumo médio de água potável é bem superior aos demais períodos, perfazendo 372 litros/dia. Justifica-se isto, pela necessidade de complementação da demanda de água pluvial e pela continuidade das demais pesquisas com água potável aquecida.

⁸ Na Casa Eficiente a água potável é utilizada na torneira da cozinha, lavatório do banheiro e no chuveiro.

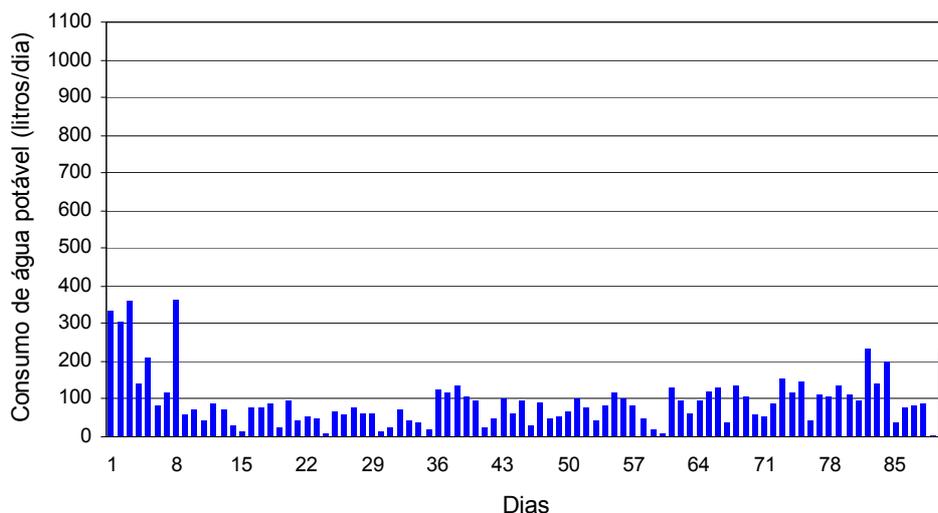
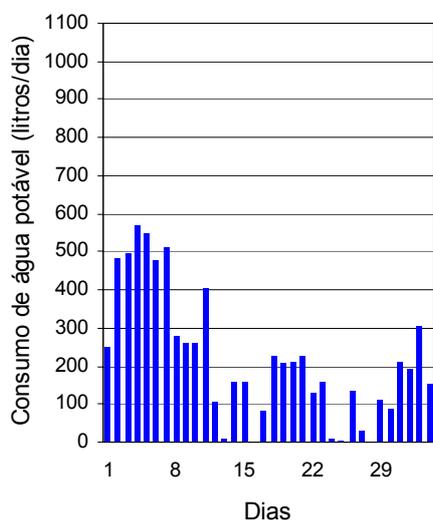
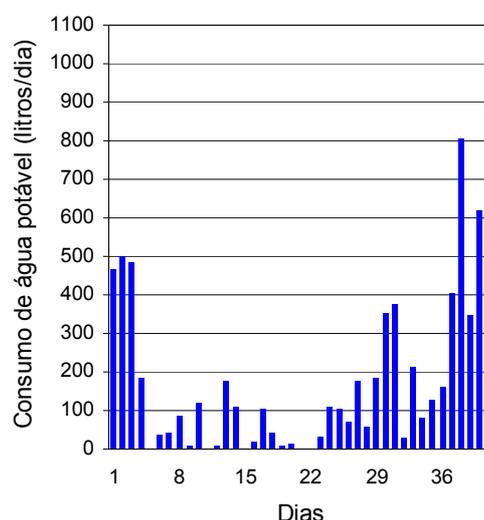


Figura 45. Consumo diário de água potável no período 1.



(a) Período 2



(b) Período 3

Figura 46. Consumo diário de água potável nos períodos 2 e 3.

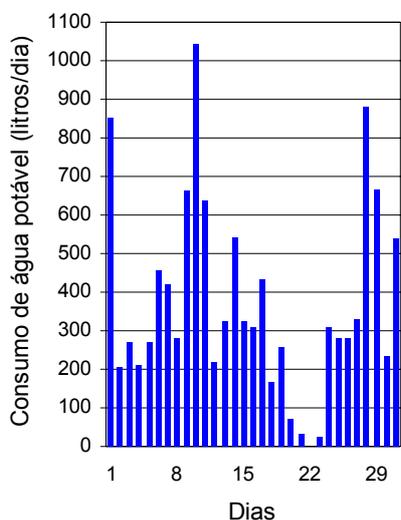


Figura 47. Consumo diário de água potável no período 4.

4.1.3. Precipitação pluviométrica

Os dados de precipitação⁹ compreenderam todos os períodos monitorados. A Tabela 28 apresenta um resumo com a precipitação total para cada período e estação meteorológica considerada. Conforme mencionado na metodologia, houve falhas no armazenamento dos dados da estação da Casa Eficiente nos dois últimos períodos da pesquisa. Para suprir esta ausência, índices de outras estações meteorológicas foram obtidos. No entanto, apenas os dados da estação automática do INMET e da estação convencional ETA EPAGRI/CASAN abrangem os quatro períodos avaliados.

Percebe-se que há diferenças significativas em todos os períodos de uma estação para outra. Mas não é possível afirmar que existem erros nos valores registrados. No período 1, a precipitação total da estação da Casa Eficiente é praticamente idêntica ao valor obtido na estação automática do INMET. A diferença entre os dois valores é de apenas 0,40mm para os noventa dias observados. Por outro lado, nesse mesmo período, a estação convencional ETA EPAGRI/CASAN registra cerca de 240mm a menos que as demais estações. No período 2, essa tendência não é observada, visto que a precipitação da estação ETA EPAGRI/CASAN é a que mais se aproxima da estação da Casa Eficiente. Porém, a diferença entre os valores é expressiva, atingindo 39,20mm.

Tabela 28. Precipitação pluviométrica para cada período monitorado.

Estação meteorológica	Precipitação total (mm)			
	Período 1	Período 2	Período 3	Período 4
Casa Eficiente (CE)	1031,40	360,60	-	-
Automática INMET	1032,80	284,80	648,60	341,40
Convencional INMET	-	-	638,10	338,30
Automática ETE EPAGRI/CASAN ¹	-	256,20	600,40	264,00
Convencional ETA EPAGRI/CASAN	791,10	321,20	495,70	250,10

¹Estação instalada em 19/12/07.

⁹ Os dados de precipitação das estações automáticas do INMET, EPAGRI e da Casa Eficiente foram disponibilizados em base horária. Para as demais estações os dados foram disponibilizados em base diária.

A Figura 48 apresenta a precipitação mensal para cada mês e estação meteorológica considerada, e a precipitação média mensal de Florianópolis no período 1970-2005 (INMET, 2006 apud PETERS, 2006). Em maio de 2008 e janeiro de 2009, os valores representados correspondem somente à precipitação registrada nos períodos da coleta de dados na Casa Eficiente. Pode-se verificar que, à exceção desses meses e do mês de dezembro de 2007, a precipitação mensal registrada em qualquer uma das estações é superior a precipitação média no período 1970-2005. Isto favorece o atendimento à demanda de água pluvial. Observa-se também, a proximidade entre os índices da estação da Casa Eficiente com a estação automática do INMET e, também, a semelhança destes últimos à estação convencional do mesmo instituto, nos meses de novembro e dezembro de 2008 e janeiro de 2009.

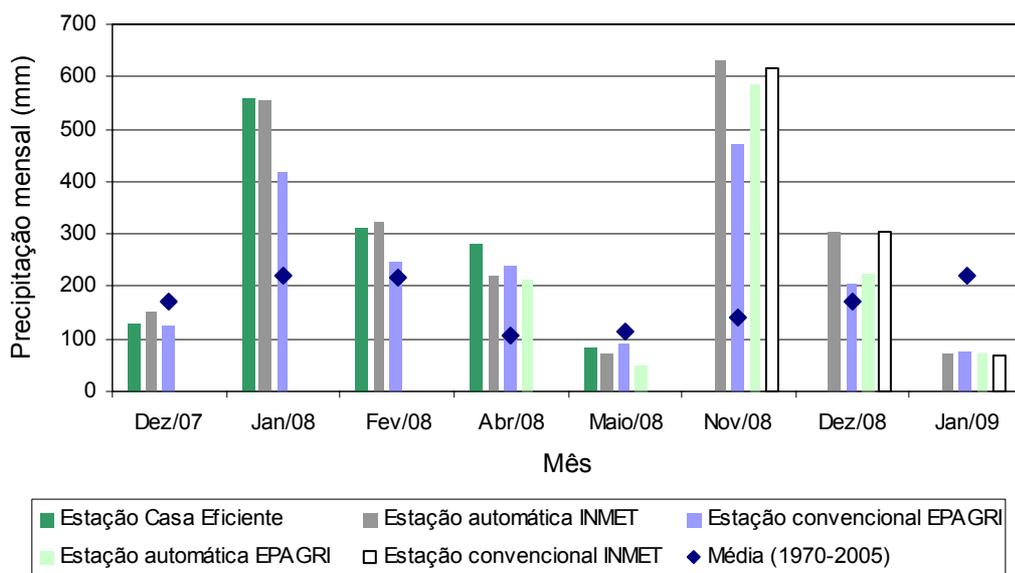


Figura 48. Precipitação mensal registrada por cinco estações meteorológicas de Florianópolis, SC.

Devido às semelhanças nas precipitações mensais da estação da Casa Eficiente e da estação automática do INMET, investigou-se a possibilidade de utilização dos dados do INMET, como referência para as estimativas do potencial de economia de água potável nos dois últimos períodos da pesquisa.

As Figuras 49 e 50 mostram a precipitação diária registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente e pela estação automática do INMET, para os

dois períodos iniciais da pesquisa. Como se observa, a precipitação distribui-se similarmente ao longo dos períodos. No primeiro período, foram registrados 63 dias com chuva em ambas as estações, e no segundo período, 15 dias na estação da Casa Eficiente e 13 dias na estação automática do INMET.

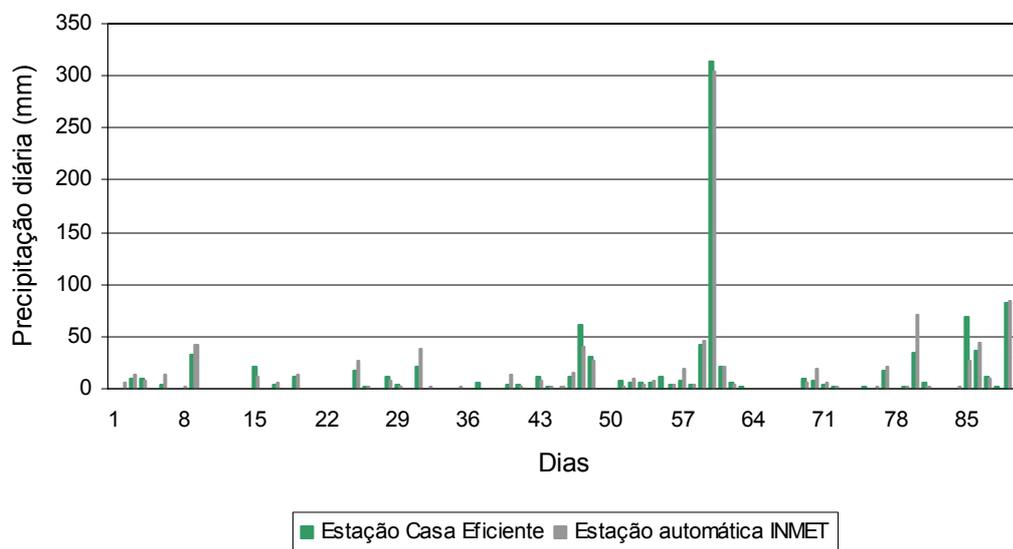


Figura 49. Precipitação diária registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente e pela estação automática do INMET no período 1.

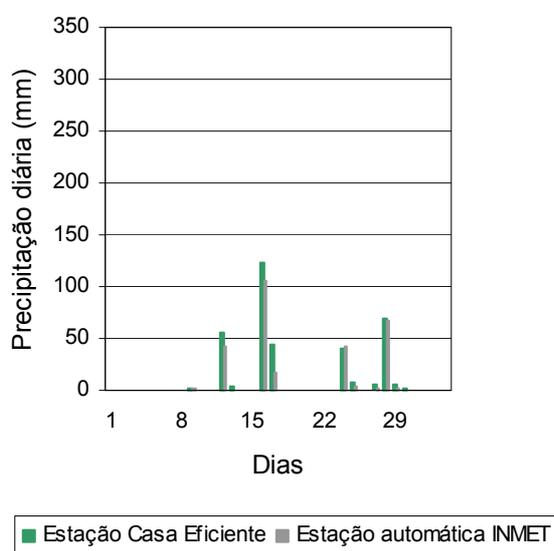
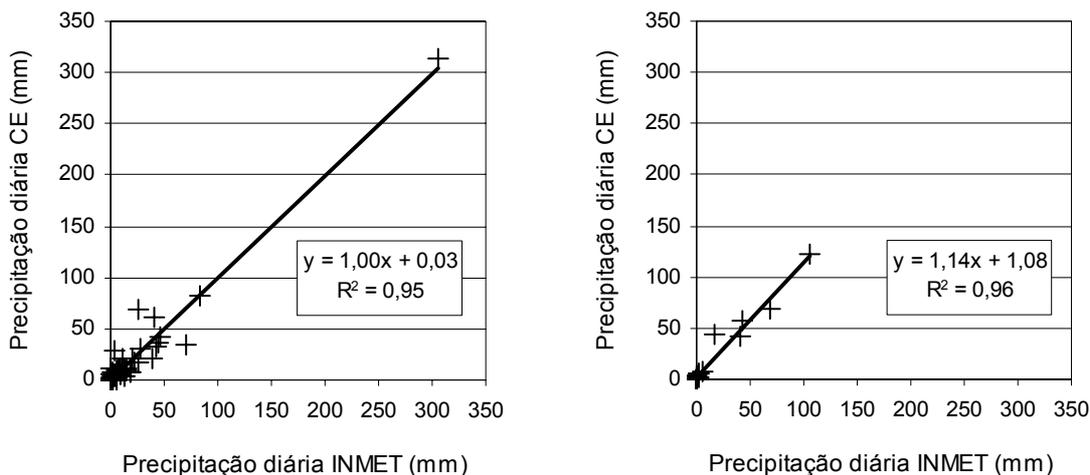


Figura 50. Precipitação diária registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente e pela estação automática do INMET no período 2.

Na tentativa de obter resultados mais conclusivos, correlações entre as precipitações diárias e horárias das duas estações meteorológicas foram averiguadas (Figuras 51 e 52).

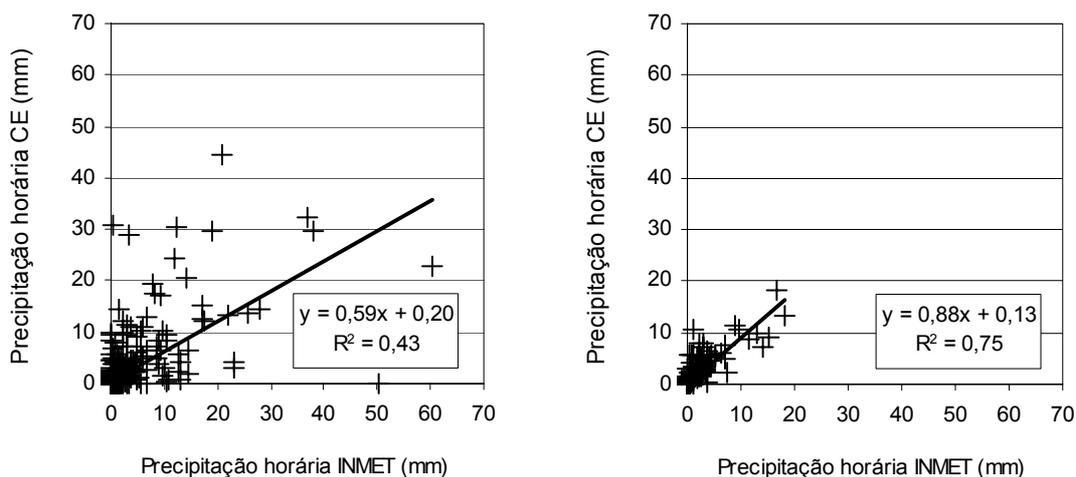
É possível perceber que a correlação entre a precipitação diária da Casa Eficiente e do INMET é forte. Logo, supõem-se que a utilização dos dados da estação automática do INMET, para estimar o potencial de economia de água potável em base de tempo diário, no terceiro e quarto períodos, pode ser satisfatória. O mesmo não se pode afirmar para intervalo de tempo horário, porque no período 2 a correlação se mostrou fraca ($R^2=0,43$).



(a) Período 1

(b) Período 2

Figura 51. Correlação entre a precipitação diária registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente e pela estação automática do INMET nos períodos 1 e 2.



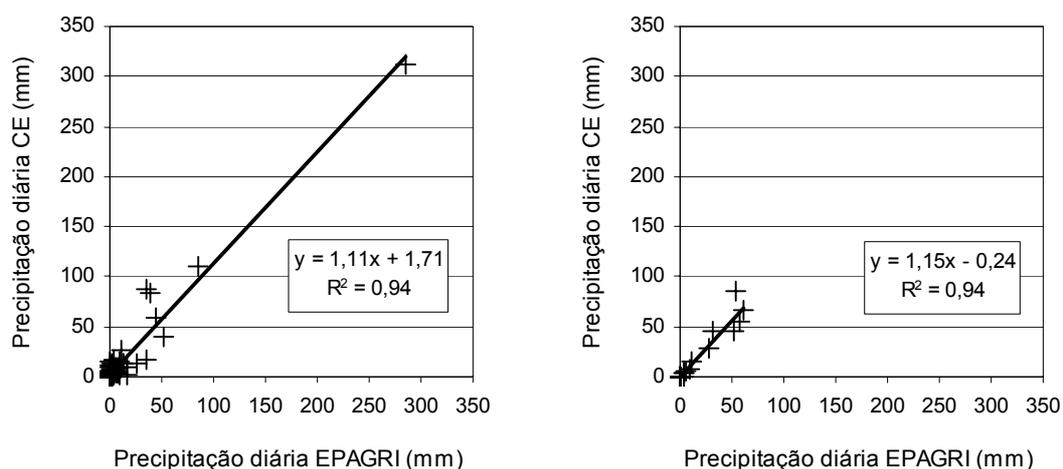
(a) Período 1

(b) Período 2

Figura 52. Correlação entre a precipitação horária registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente e pela estação automática do INMET nos períodos 1 e 2.

Como nos dois períodos iniciais se dispõe também dos índices de precipitação da estação convencional da EPAGRI, verificou-se possíveis correlações com a

precipitação diária da Casa Eficiente (Figura 53). Neste caso, constatou-se que a correlação também é forte, apesar de ligeiramente mais fraca que as anteriores. Mesmo assim, optou-se por utilizar a precipitação da estação automática do INMET, pelos motivos já relatados e pela disponibilidade de dados em base horária e diária.



(a) Período 1

(b) Período 2

Figura 53. Correlação entre a precipitação diária registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente e pela estação convencional da EPAGRI nos períodos 1 e 2.

4.1.4. Coeficiente de aproveitamento de água pluvial

O coeficiente de aproveitamento de água pluvial é uma variável importante para as estimativas do potencial de economia de água potável. Dependem desta variável, o volume aproveitável de água pluvial (V_{ap}), o volume de água pluvial armazenado no reservatório (V_R) e o volume de água pluvial consumido (V_C) - como mostram, na revisão bibliográfica, a Eq. 2.1 e as Figuras 15 e 16, referentes ao algoritmo do programa Netuno.

Para a avaliação do coeficiente de aproveitamento, pelo menos três valores precisam ser conhecidos: o volume aproveitável de água pluvial, a precipitação pluviométrica e a área de captação.

A área de captação adotada para o cálculo do coeficiente de aproveitamento é de 120,72m². Este valor corresponde à área da projeção horizontal das

superfícies inclinadas da cobertura, e foi determinado após o levantamento das dimensões dos telhados.

A precipitação pluviométrica utilizada foi obtida na estação meteorológica da Casa Eficiente. Os dados fornecidos encontravam-se em base horária, e foram acumulados diariamente, para possibilitar a determinação do coeficiente de aproveitamento nos dois intervalos de tempo.

O volume aproveitável de água pluvial depende da variação de nível no reservatório inferior de água pluvial e da área útil deste reservatório, cujo valor é $3,87\text{m}^2$. Além disso, considera-se também, o volume de água pluvial recalcado para o reservatório superior.

As Figuras 54 a 56 mostram o recalque diário de água pluvial nos períodos monitorados. Pode-se notar que, para menores demandas de água pluvial, a exemplo dos períodos 1 e 2, o recalque de água acontece em média a cada dois dias. Nestes casos, a demanda diária de água pluvial equivale aproximadamente à metade do volume do reservatório superior. Nos demais períodos, a demanda diária de água pluvial é maior que o desnível geométrico necessário para que haja recalque (Figura 33b). Logo, quando se dispõe de água pluvial no reservatório inferior, verifica-se recalque de água pluvial diariamente.

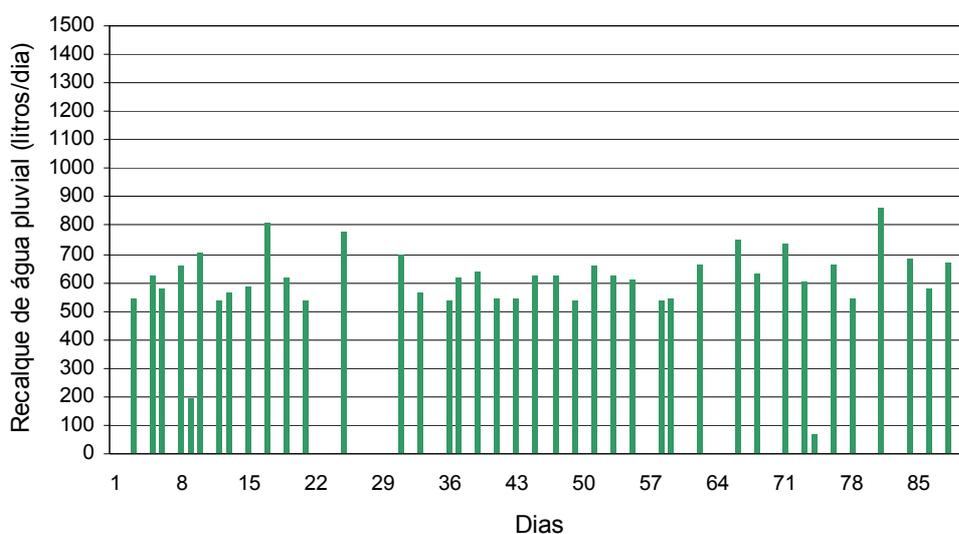
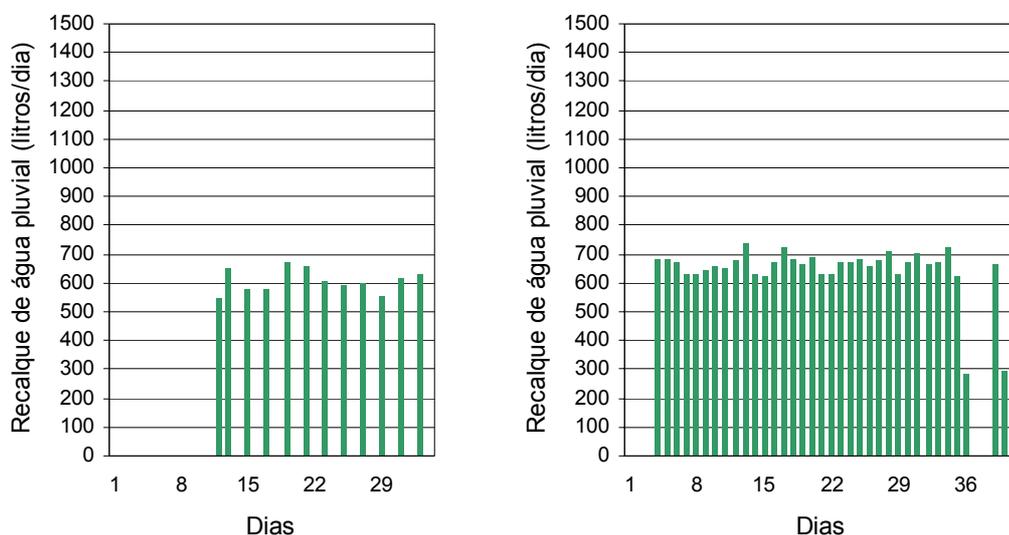


Figura 54. Recalque diário de água pluvial no período 1.

Ao longo dos quatro períodos avaliados, o recalque de água pluvial é crescente. Excluindo-se os dias em que não se observou essa operação no sistema de aproveitamento de água pluvial, obtém-se recalques médios de 604, 608, 647 e 892 litros/dia, respectivamente, do primeiro ao quarto período.

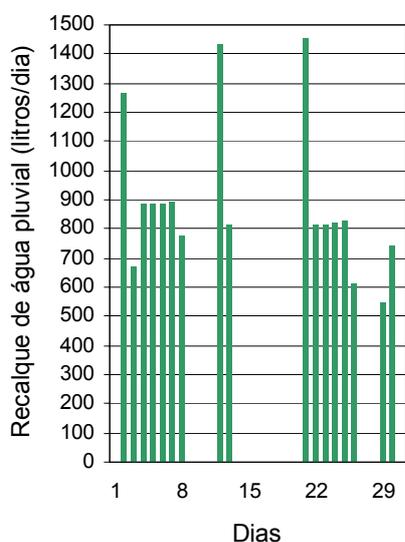


(a) Período 2

(b) Período 3

Figura 55. Recalque diário de água pluvial nos períodos 2 e 3.

Na Figura 56, observa-se recalques elevados no 2^o dia (1263 litros), no 12^o dia (1433 litros) e no 21^o dia (1456 litros) da pesquisa. Estes dias são precedidos de períodos em que não se dispunha de água pluvial no reservatório inferior em quantidade suficiente para abastecer o reservatório superior.

**Figura 56. Recalque diário de água pluvial no período 4.**

As Figuras 57 a 59 mostram a variação horária do nível de água no reservatório inferior e o recalque de água pluvial para os quatro períodos monitorados. Os valores ilustrados para o recalque de água são idênticos aos mostrados nas Figuras 54 a 56. Ao longo das horas, os níveis ascendentes de água pluvial representam o armazenamento dessa água no reservatório inferior. Por outro lado, os desníveis descendentes representam as retiradas de água pluvial do reservatório inferior, que equivalem, na maioria das vezes, aos recalques de água pluvial para o reservatório superior. Conforme mencionado na metodologia, é necessário cerca de 650 litros de água pluvial no reservatório inferior para que seja possível recalcar água ao reservatório superior. Isto equivale a um nível de água de 0,270m.

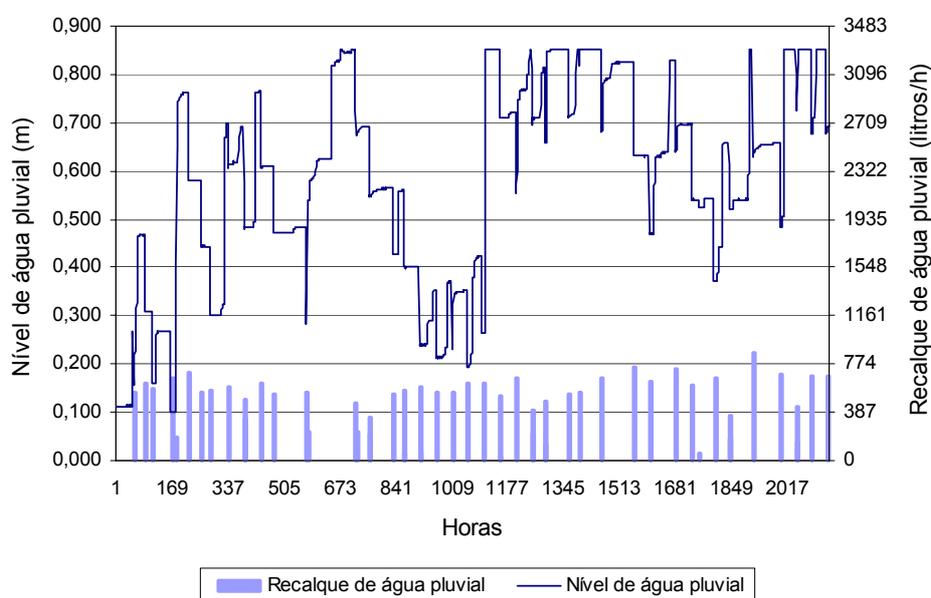


Figura 57. Variação do nível de água no reservatório inferior e recalque de água pluvial no período 1.

No decorrer da análise dos resultados do transmissor de nível hidrostático, das precipitações pluviométricas, e dos dados registrados pelo hidrômetro que mede o volume de água pluvial recalcado, percebeu-se que houve recalque de água pluvial durante os eventos de chuva. A principal consequência disto, é o aumento da economia de água potável, uma vez que o volume retirado do reservatório inferior pode possibilitar maior aproveitamento de água pluvial.

Na Figura 58a, por exemplo, pode-se verificar que, no início do período 2, o nível de água no reservatório era próximo de 0,200m. Ao longo das horas,

houve um aumento gradativo do volume armazenado, proveniente da contribuição de precipitações acumuladas na ordem de 3,80mm. Na 271ª hora (12º dia) houve recalque de água pluvial para o reservatório superior. Durante o recalque, chovia continuamente na Casa Eficiente, motivo pelo qual não coincide o desnível e o recalque de água pluvial mostrados na figura.

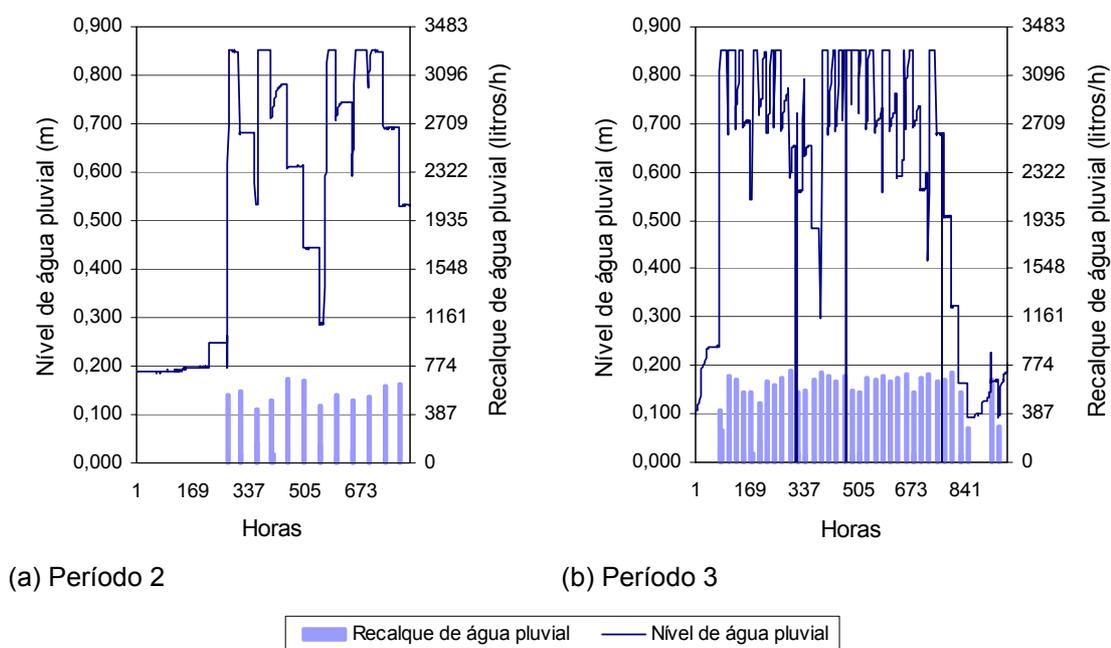


Figura 58. Variação do nível de água no reservatório inferior e recalque de água pluvial nos períodos 2 e 3.

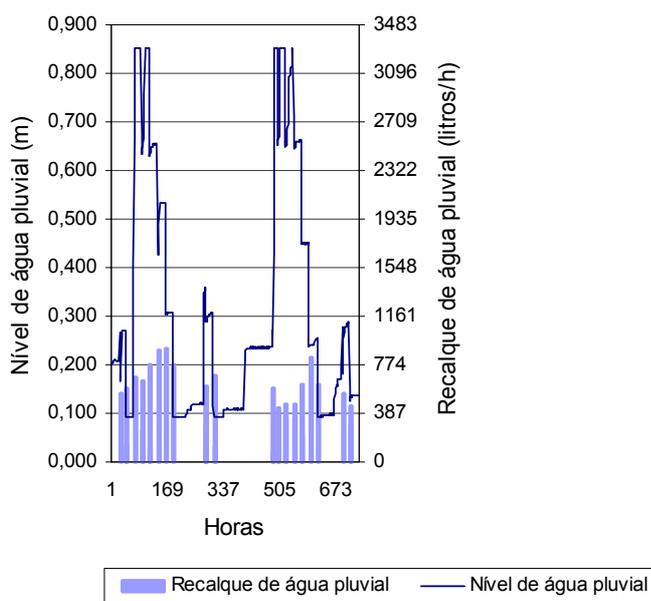


Figura 59. Variação do nível de água no reservatório inferior e recalque de água pluvial no período 4.

No método deste trabalho, foram estabelecidas algumas restrições para a avaliação do coeficiente de aproveitamento de água pluvial, com o objetivo de se obter valores confiáveis para esse índice. As análises foram realizadas somente para os dois períodos iniciais da pesquisa - considerando, portanto, 124 dos 196 dias monitorados. Nos demais períodos estudados, houve falhas na coleta de dados de precipitação na Casa Eficiente, impossibilitando a determinação do coeficiente de aproveitamento. Nos dois períodos avaliados, registrou-se precipitação em 444 horas ao longo de 78 dias. Mas, em apenas 31 casos, para intervalo horário, e em 15 casos para intervalo diário, foi possível determinar o coeficiente de aproveitamento de água pluvial, devido a inexistência de medição do volume extravasado de água do reservatório inferior.

As Tabelas 29 e 30 apresentam os valores encontrados para o coeficiente de aproveitamento de água pluvial (C_p) para intervalo de tempo horário e diário, respectivamente. Os coeficientes mostrados foram utilizados nas simulações do potencial de economia de água potável, considerando o período, dia e hora em que foram obtidos. Nos demais dias e horas, fez-se uso do coeficiente de aproveitamento estimado¹⁰, conforme os índices da Tabela 31, que mostra também, o coeficiente de aproveitamento médio e o desvio padrão para cada intervalo de tempo.

Tabela 29. Coeficiente de aproveitamento de água pluvial para intervalo de tempo horário.

Período	Dia	Hora	C_p	Precipitação (mm)	Período	Dia	Hora	C_p	Precipitação (mm)
1	4	12h	0,8816	2,8	1	51	0h	0,7826	3,4
1	6	20h	0,8335	4,0	1	55	18h	0,5995	10,0
1	9	6h	0,7044	10,2	1	62	19h	0,5931	4,0
1	9	7h	0,7002	3,8	1	70	0h	0,6703	6,6
1	9	9h	0,6927	11,2	1	77	15h	0,4343	12,4
1	15	7h	0,6412	12,0	1	87	2h	0,8816	2,8
1	15	8h	0,8014	2,8	1	89	8h	0,8014	3,6
1	19	4h	0,6139	9,4	2	12	8h	0,7255	7,6
1	25	17h	0,5732	13,2	2	12	9h	0,7115	11,4
1	28	19h	0,5610	9,6	2	12	10h	0,7072	3,4
1	37	5h	0,7185	5,8	2	12	11h	0,7124	5,4
1	43	7h	0,7432	4,4	2	16	2h	0,7480	10,8
1	43	0h	0,6557	4,4	2	24	8h	0,5076	4,8
1	46	8h	0,6161	6,4	2	24	9h	0,9062	5,2
1	47	23h	0,3503	32,4	2	24	18h	0,7187	6,2

¹⁰ O coeficiente de aproveitamento estimado foi obtido através de procedimento estatístico, com base no coeficiente de aproveitamento médio e em seu desvio padrão, de acordo com a Eq. 3.8.

Tabela 30. Coeficiente de aproveitamento de água pluvial para intervalo de tempo diário.

Período	Dia	Cp	Precipitação (mm)	Período	Dia	Cp	Precipitação (mm)
1	3	0,7224	10,0	1	43	0,6400	11,8
1	9	0,7050	32,2	1	46	0,6017	12,2
1	15	0,6733	21,6	1	52	0,5877	4,8
1	17	0,5756	4,0	1	54	0,5795	5,2
1	19	0,7185	12,2	1	69	0,5496	9,8
1	25	0,5701	16,8	1	70	0,6021	8,2
1	28	0,5837	10,6	1	77	0,5196	17,4

Em cada amostra acima, um dos coeficientes de aproveitamento encontrados foi considerado espúrio. Para intervalo horário, o valor espúrio foi 1,1888; sendo também, o único valor observado superior a um. No caso de intervalo diário, o valor espúrio foi 0,8517. Valor este muito próximo dos índices frequentemente considerados em estudos sobre o aproveitamento de água pluvial.

Quanto à validade da metodologia empregada, relata-se um exemplo da Tabela 29 que desperta a atenção: no período 1, dia 47, às 23h, o coeficiente de aproveitamento é 0,3503, muito abaixo do coeficiente médio para intervalo de tempo horário, cujo valor é 0,6832. Analisando, a variação de nível no reservatório inferior de água pluvial, percebeu-se que o nível de água neste reservatório permaneceu constante e igual a 0,264m até às 22h40min do dia 47. Nas leituras seguintes, o nível de água aumentou para 0,307m às 22h50min, 0,618m às 23h e 0,852m às 23h10min. Como não se dispõe de dados de precipitação em intervalo inferior à uma hora, estima-se que a chuva iniciou entre as 22h40min e 22h50min. A estação meteorológica da Casa Eficiente registrou 32,40mm de precipitação das 22h às 23h, e 28,80mm das 23h às 0h. Devido à magnitude do coeficiente de aproveitamento encontrado, estima-se também que nem todo o volume correspondente à precipitação de 32,40mm atingiu o reservatório inferior de água pluvial até às 23h. Assim, o coeficiente de aproveitamento obtido é adequado para avaliar o volume aproveitável de água pluvial nesta hora, mas pode ser inadequado para utilização em novos estudos sobre aproveitamento de água pluvial.

Com relação aos coeficientes de aproveitamento de água pluvial para intervalo de tempo diário, acredita-se que o método utilizado na avaliação foi satisfatório, porque na maioria dos casos observados, a variação de nível no reservatório

inferior de água pluvial ocorreu no mesmo dia. Corrobora para isto, o baixo desvio padrão do coeficiente de aproveitamento, para intervalo de tempo diário, cujo valor equivale a uma variação de $\pm 10,5\%$; inferior por conseguinte, à variação de $\pm 18,4\%$ para intervalo horário.

Tabela 31. Coeficiente de aproveitamento de água pluvial médio e estimado.

Variável	Intervalo de tempo	
	Horário	Diário
Coeficiente de aproveitamento médio (C_{pm})	0,6862	0,6163
Desvio padrão (S_{cp})	0,1262	0,0648
Coeficiente de aproveitamento estimado (C_{pe})	0,4786	0,5097

Os coeficientes de aproveitamento apresentados na Tabela 31 podem ser considerados baixos, visto que para os tipos de telhas utilizados na cobertura da Casa Eficiente, o coeficiente de escoamento superficial é geralmente superior a 0,80. Levando-se em conta a eficiência do dispositivo de descarte de folhas e detritos, que é de aproximadamente 90%, tem-se um coeficiente de aproveitamento de água pluvial igual a 0,72. Portanto, maior que os valores determinados nesta pesquisa. Acredita-se que uma das causas prováveis para os baixos coeficientes de aproveitamento encontrados é o mau posicionamento da calha em relação às telhas do beiral da fachada oeste, como ilustra a Figura 60. Isto pode ter ocasionado a perda de água em chuvas de elevada intensidade pluviométrica.



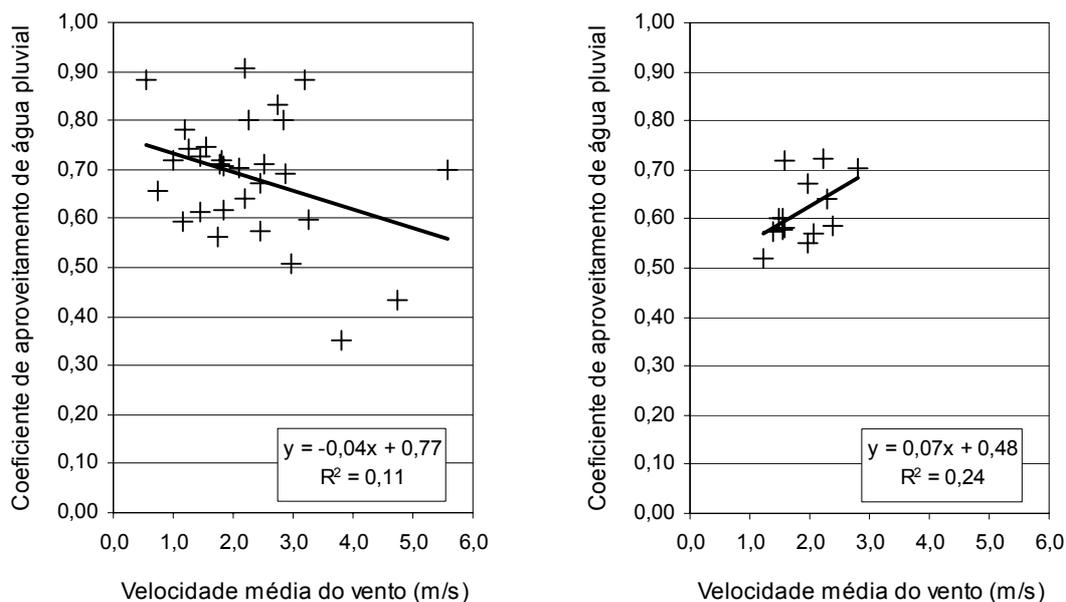
(a) Vista 1



(b) Vista 2

Figura 60. Fotos do beiral do telhado voltado para a fachada oeste da Casa Eficiente.

Como se dispõe de dados da velocidade do vento obtidos na estação meteorológica da Casa Eficiente, averiguou-se possíveis correlações com os coeficientes de aproveitamento das Tabelas 29 e 30 (Figura 61). Pode-se perceber que a correlação é fraca para os dois intervalos de tempo considerados nas análises, evidenciando pouca influência do vento nos coeficientes de aproveitamento determinados.



(a) Intervalo horário

(b) Intervalo diário

Figura 61. Correlação entre o coeficiente de aproveitamento de água pluvial e a velocidade média do vento registrada pela estação meteorológica da Casa Eficiente.

Outras perdas de água pluvial nos elementos do sistema de captação podem ter ocorrido, mas são menos prováveis porque houve acompanhamento técnico contínuo durante a execução da obra, buscando a máxima fidelidade ao projeto.

4.2. Avaliação do potencial e da economia de água potável

Realizado o tratamento preliminar dos dados coletados na Casa Eficiente, parte-se para a avaliação do potencial de economia estimado e da economia de água potável efetivamente obtida na Casa Eficiente.

Os resultados a seguir apresentados visam atingir os dois objetivos específicos intermediários deste trabalho. Assim, na avaliação dos indicadores em epígrafe, são mostrados resultados para base horária e diária.

4.2.1. Economia de água potável obtida na Casa Eficiente

As Tabelas 32 e 33 apresentam as economias de água potável efetivamente obtidas através do aproveitamento de água pluvial na Casa Eficiente. Em geral, percebe-se que as diferenças entre as economias de uma semana para outra são inferiores quando se leva em conta as economias acumuladas. Por exemplo, no período 2, analisando as semanas 1 e 2, a diferença entre as economias acumuladas é de 12,9%; inferior, portanto, aos 32,3% quando se toma os valores individuais da economia para essas semanas.

A avaliação individual da economia de água potável, consistiu na determinação de seu valor para cada semana, independentemente das demais, conforme mencionado no item 3.3. No caso da avaliação acumulada, considerou-se todos os dias anteriores ao sétimo dia de cada semana. Deste modo, obteve-se resultados para a economia de água potável para os primeiros 7 dias, depois para os primeiros 14 dias, e assim sucessivamente, até o término dos períodos monitorados.

Outro exemplo sobre a pouca influência das economias individuais na economia acumulada ao longo do tempo pode ser mencionado para o último período estudado. Na terceira semana desse período, há uma redução de 15,5% na economia individual de água potável em relação à semana anterior. No entanto, o efeito dessa redução na economia total acumulada é de apenas 3,4% até a terceira semana.

Tabela 32. Economia de água potável semanal - períodos 1 e 2.

Período 1			Período 2		
Semana	Economia individual	Economia acumulada	Semana	Economia individual	Economia acumulada
1	48,7	48,7	1	4,0	4,0
2	77,5	63,6	2	36,3	16,9
3	84,6	70,0	3	66,2	34,8
4	71,9	70,2	4	81,5	44,9
5	84,7	72,4	5	63,8	48,7
6	76,4	73,1			
7	80,8	74,2			
8	78,1	74,8			
9	79,6	75,2			
10	69,5	74,7			
11	72,1	74,5			
12	64,6	73,5			
13	78,5	73,9			

Tabela 33. Economia de água potável semanal - períodos 3 e 4.

Período 3			Período 4		
Semana	Economia individual	Economia acumulada	Semana	Economia individual	Economia acumulada
1	53,7	53,7	1	65,2	65,2
2	90,1	74,8	2	48,4	57,1
3	96,0	82,3	3	32,9	53,7
4	89,3	84,2	4	68,5	57,9
5	77,2	82,5	5	47,4	56,8
6	41,4	76,2			

A Tabela 34 mostra as economias máximas e as totais de água potável para os quatro períodos monitorados. A economia total de água potável equivale à economia acumulada na última semana de cada período. A razão entre a demanda de água pluvial e a demanda de água potável, representa a economia de água potável máxima, supondo que existisse água pluvial em quantidade suficiente para suprir a demanda.

No primeiro período, a economia total de água potável (73,9%) ficou próxima da economia máxima que poderia ter sido obtida (77,2%). Por outro lado, nos demais períodos a diferença entre as economias (máximas e obtidas) é maior, atingindo 19,9%, 8,4% e 15,6%, respectivamente, do segundo ao último período analisado.

Tabela 34. Economias máximas e totais de água potável para cada período monitorado.

Período	Demanda total de água pluvial (litros)	Demanda total de água potável (litros)	Economia de água potável máxima (%)	Economia total de água potável (%)
1	25099	32527	77,2	73,9
2	9974	14544	68,6	48,7
3	24869	29398	84,6	76,2
4	19332	26688	72,4	56,8

4.2.2. Potencial de economia de água potável estimado pelo Netuno

A seguir são apresentados os potenciais de economia de água potável, obtidos através das simulações, para os dois modos de avaliação semanal previstos na metodologia. As siglas C_{pe} e C_{pm} correspondem ao coeficiente de aproveitamento adotado nas estimativas, e equivalem, respectivamente, ao coeficiente estimado e ao coeficiente médio, de acordo com os valores da Tabela 31. Os valores ilustrados para a economia de água potável são iguais aos valores mostrados nas Tabelas 32 e 33.

Visando facilitar a verificação do intervalo de tempo mais adequado para estimar o potencial de economia de água potável, primeiramente, são apresentados os resultados para intervalo de tempo diário e, em seguida, para intervalo horário.

4.2.2.1. Avaliação semanal individual

Observando as Figuras 62 a 65, pode-se verificar que em diversas semanas os potenciais de economia de água potável preditos pelos dois algoritmos do programa Netuno, para diferentes coeficientes de aproveitamento e intervalos de tempo, são idênticos à economia de água potável efetivamente obtida na Casa Eficiente. Essas semanas fazem parte dos três períodos iniciais da pesquisa, onde ocorreram precipitações pluviométricas significativamente superiores à média histórica de Florianópolis (Figura 48). No período 1, por exemplo, choveu em 63 dos 90 dias monitorados. O número médio de dias sem chuva nesse período é 1,9. Levando-se em conta somente os dias com chuva, tem-se precipitação média de 16,37mm. Isto equivale a um volume captado médio diário de água pluvial de 1976 litros. Desse modo, mesmo para coeficientes

de aproveitamento muito baixos, na ordem de 0,48, tem-se um volume aproveitável de água pluvial de 948 litros, suficiente portanto, para atender a demanda média de água pluvial de 279 litros/dia do período por 3,4 dias.

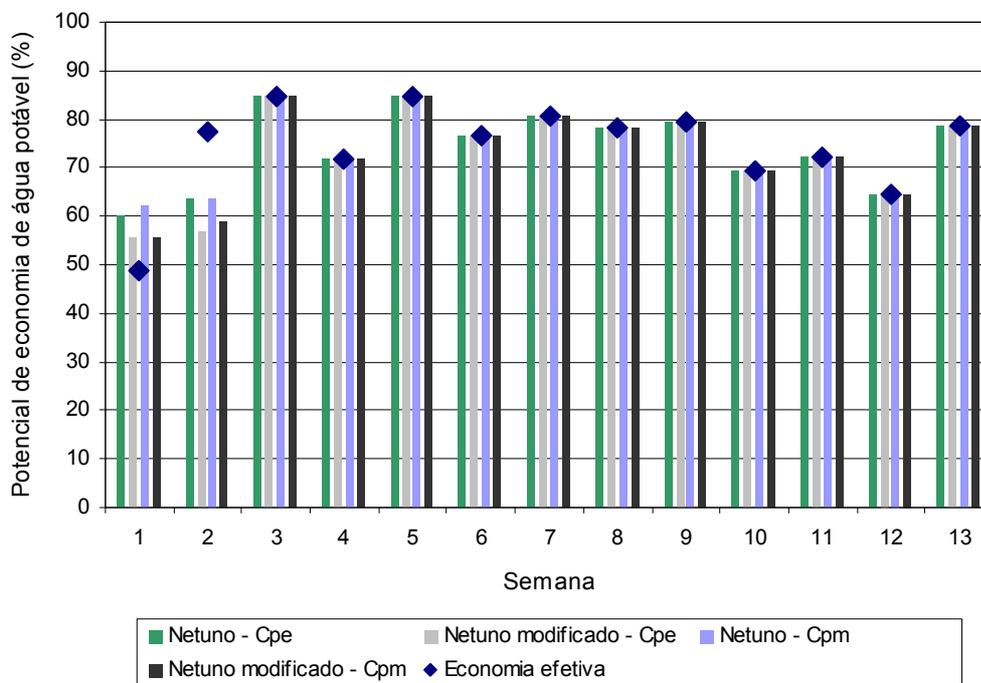


Figura 62. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais individuais e intervalo de tempo diário - período 1.

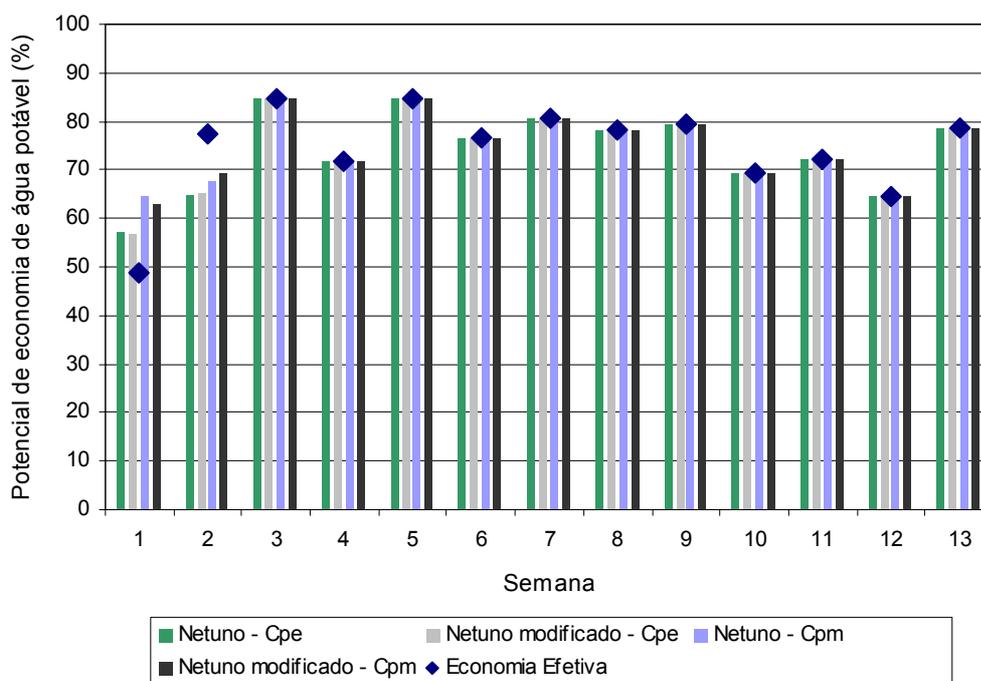
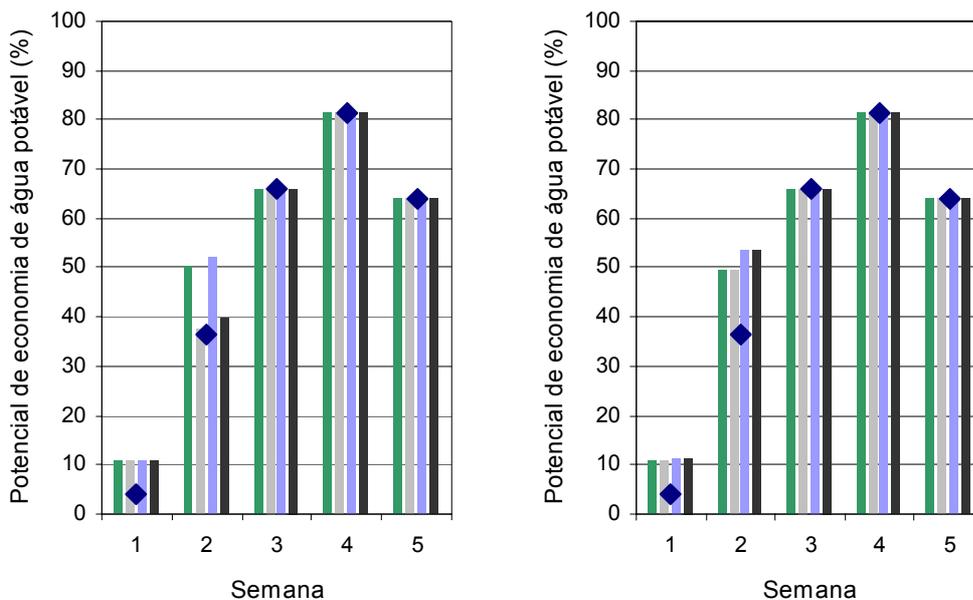


Figura 63. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais individuais e intervalo de tempo horário - período 1.



(a) Intervalo diário

(b) Intervalo horário

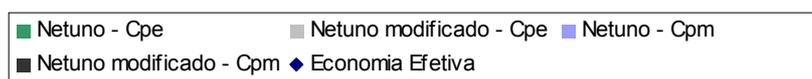
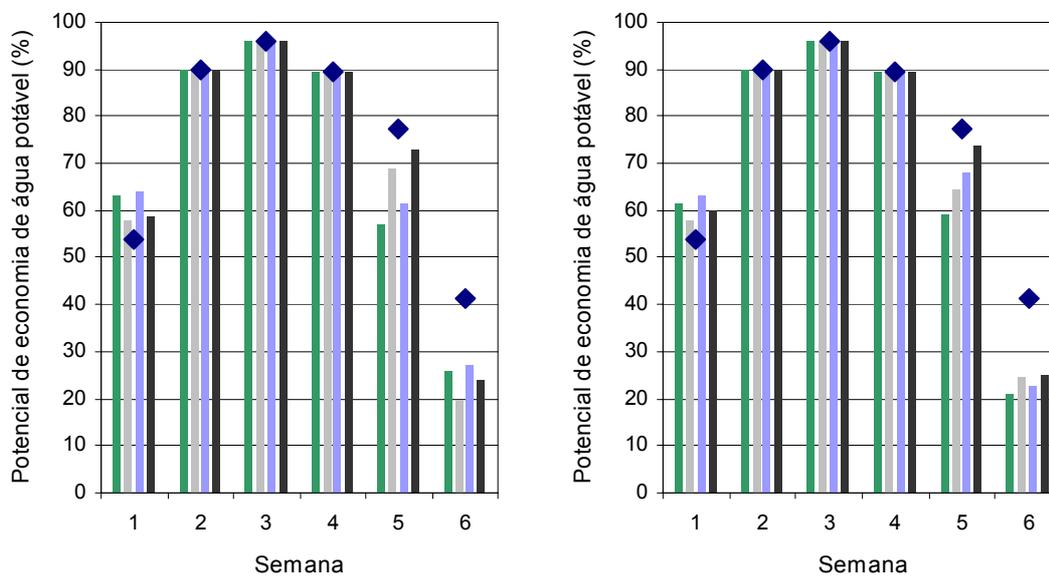


Figura 64. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais individuais e diferentes intervalos de tempo - período 2.



(a) Intervalo diário

(b) Intervalo horário

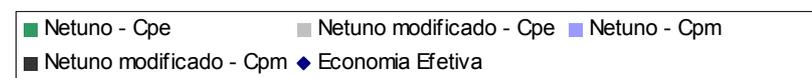
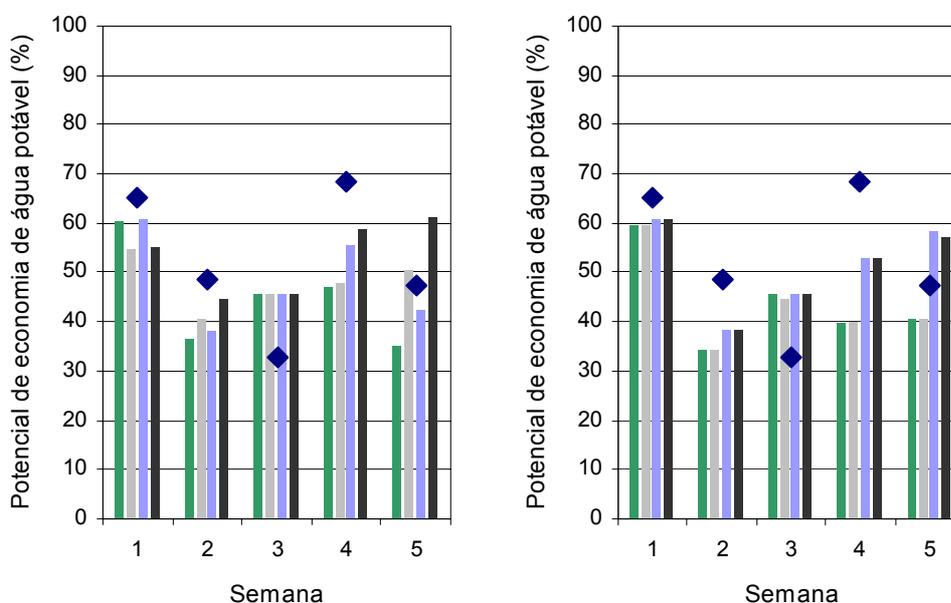


Figura 65. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais individuais e diferentes intervalos de tempo - período 3.

Diferentemente dos períodos anteriores, a Figura 66 mostra potenciais de economia preditos bem desiguais das economias de água potável efetivas. Em alguns casos, inclusive, as diferenças ultrapassam 25%, a exemplo das estimativas efetuadas pelos algoritmos na quarta semana (Figura 66b). Ocorre que os algoritmos do programa Netuno levam em conta somente o volume do reservatório principal dos sistemas de aproveitamento de água pluvial. No caso de sistema de distribuição indireto, como é o sistema da Casa Eficiente, considera-se apenas o volume útil do reservatório inferior. Essa limitação, aliada a ocasiões em que os reservatórios (inferior e superior) estão vazios, como ocorreu com frequência no 4º período, faz com que os potenciais de economia estimados sejam inferiores as economias de água potável obtidas.



(a) Intervalo diário

(b) Intervalo horário

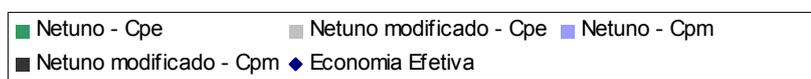


Figura 66. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais individuais e diferentes intervalos de tempo - período 4.

4.2.2.2. Avaliação semanal acumulada

As análises a seguir apresentadas são baseadas nas diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável obtidas na Casa Eficiente, segundo os valores relacionados no Apêndice 1. Neste apêndice, o sinal negativo nos dados indica potencial de economia predito menor que a economia de água potável efetiva. Mas, nas análises desenvolvidas doravante, as diferenças são comparadas em módulo para facilitar o entendimento.

As curvas ilustradas nas Figuras 67 a 71 mostram os potenciais de economia de água potável estimados com dados semanais acumulados. Nota-se que estas curvas apresentam desenvolvimento similar e próximo da economia de água potável, para os dois intervalos de tempo considerados nas simulações e, também, para ambos os algoritmos do programa Netuno. Nos três períodos inicialmente avaliados, a diferença entre o potencial de economia predito e a economia de água potável efetiva tende a diminuir ao longo das semanas. No quarto período, essa tendência é observada apenas para as simulações do algoritmo modificado e coeficiente de aproveitamento médio.

A avaliação semanal acumulada aparenta ser a melhor forma para se avaliar a qualidade das estimativas realizadas com os algoritmos do programa Netuno. De forma geral, percebe-se que as diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável efetivas são menores quando se leva em consideração dados acumulados para obtenção dessas variáveis. Isto pode ser verificado na quarta semana do período 4 para o algoritmo modificado do Netuno, coeficiente de aproveitamento estimado e intervalo de tempo horário. Neste caso, a diferença entre o potencial de economia estimado com dados semanais acumulados e a economia de água potável é de 12,8% (Figura 71b); muito inferior, portanto, a diferença de 28,5% quando se toma valores individuais para o potencial e para a economia de água potável (Figura 66b).

As melhores estimativas para o potencial de economia são observadas no primeiro período. Neste caso, o algoritmo original é o que melhor prediz o

potencial de economia de água potável, apresentando uma diferença máxima de 0,5% em relação à economia de água potável na última semana desse período. Verifica-se também pequenos acréscimos de precisão¹¹ nos potenciais de economia estimados pelos algoritmos, quando se considera coeficiente de aproveitamento médio ao invés do coeficiente estimado. Isto se opõe aos decréscimos observados para algumas semanas dos períodos 2 e 3.

No segundo período, apesar da similaridade entre potenciais de economia e economias de água potável, percebe-se maior afastamento entre as curvas da Figura 69. Ao longo do período, a máxima diferença acumulada entre os potenciais de economia preditos e as economias de água potável efetivas é de 4,5%. Este percentual é verificado na quinta semana, para coeficiente de aproveitamento médio, tanto para o algoritmo original quanto para o modificado.

Ocorre que os algoritmos do Netuno levam em conta qualquer volume de água pluvial existente no reservatório para o cálculo do volume consumido. Se a quantidade de água disponível no reservatório é menor que a demanda de água pluvial, considera-se que há consumo de água potável para completar essa demanda. O volume de água potável consumido é igual ao volume de água que falta para completar a demanda de água pluvial no intervalo considerado.

Na Casa Eficiente, duas características de operação do sistema de aproveitamento de água pluvial divergem desse processo de cálculo, quais sejam: a necessidade de pelo menos 650 litros de água pluvial no reservatório inferior para que ocorra recalque ao reservatório superior; e a realimentação do reservatório superior com volume de água potável maior que o volume de água pluvial faltante para completar a demanda desta água, causando sobra de água potável para o intervalo seguinte. Quando isto acontece, observa-se economias de água potável um pouco inferiores e, também, maiores diferenças em relação aos potenciais de economia estimados, como se verifica no segundo período.

¹¹ Quanto menor a diferença entre o potencial de economia estimado e a economia de água potável obtida, mais precisa é a estimativa do algoritmo.

Mencionou-se anteriormente que no início do período 2, o nível de água no reservatório inferior era próximo de 0,200m. Este nível corresponde a cerca de 380 litros, e foi considerado pelos algoritmos do programa Netuno. No entanto, devido às características do sistema de aproveitamento de água pluvial da Casa Eficiente, deixou de ser consumido logo na primeira semana desse período, ocasionando menor economia de água potável. Caso fosse possível ajustar a chave de nível do reservatório inferior para recalque de menores volumes de água pluvial, ter-se-ia uma economia de água potável de 10,9% na primeira semana, semelhante, portanto, ao potencial de economia médio de 11,1% predito pelos algoritmos.

Diferentemente dos demais períodos monitorados, onde normalmente se observa potenciais de economia acima ou abaixo da economia de água potável - no terceiro período, há inversão da tendência ao longo das semanas. Ou seja, da primeira à quarta semana os potenciais de economia são maiores que as economias de água potável e após esse período, invertem-se, sendo menores que as economias.

No quarto período, observa-se as piores estimativas para o potencial de economia de água potável (Figura 71). Isto se deve à elevação da demanda de água pluvial, para avaliar os algoritmos em situações onde não se dispõe de água pluvial em quantidade suficiente para atender integralmente a demanda. Neste sentido, os resultados apresentados até o momento mostram o maior percentual de dias em que houve atendimento parcial da demanda de água pluvial (25,8%); o aumento do consumo de água potável (Figura 44); e a alternância entre níveis de água (mínimo e máximo) no reservatório inferior de água pluvial (Figura 59).

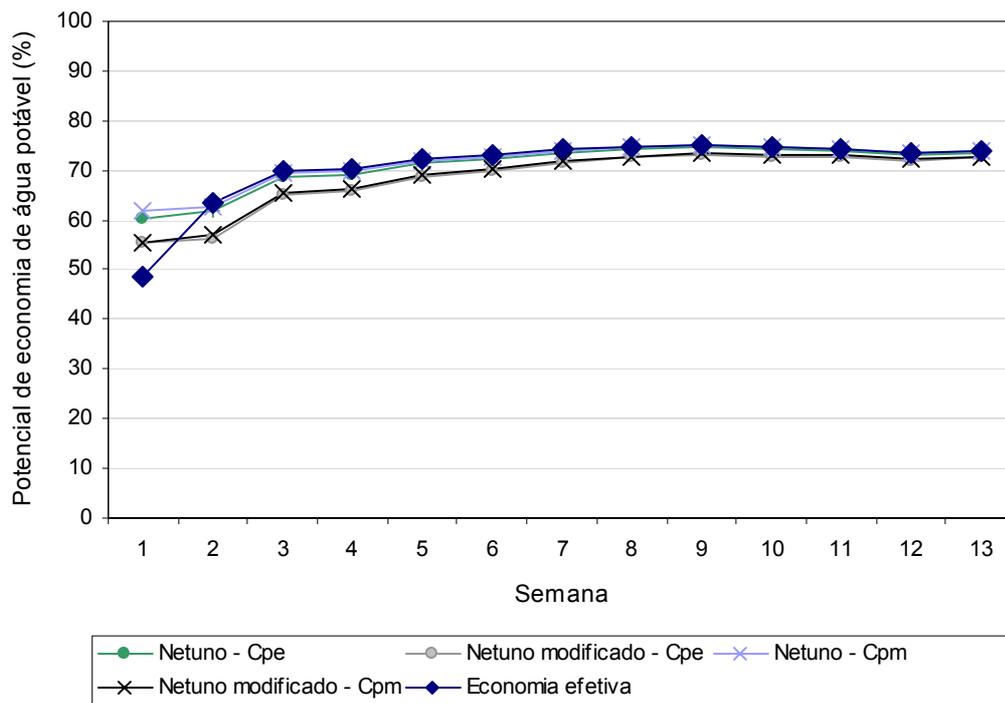


Figura 67. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais acumulados e intervalo de tempo diário - período 1.

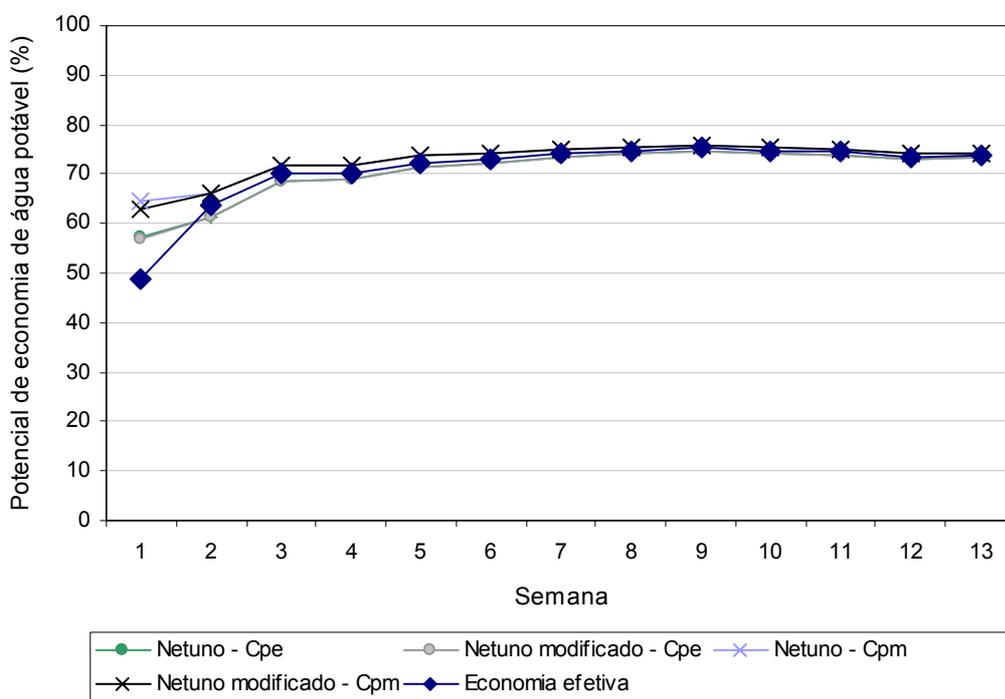
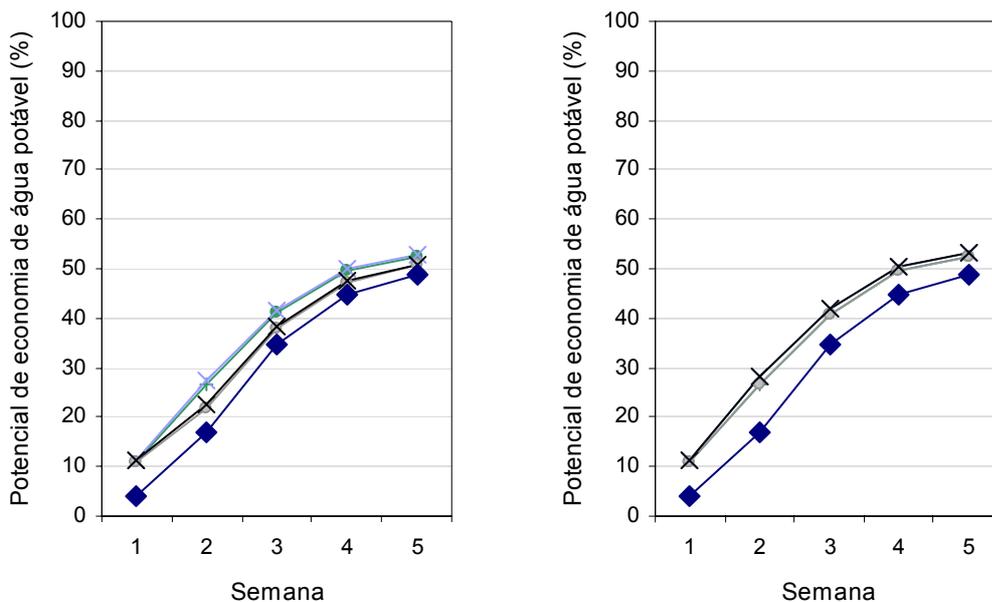


Figura 68. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais acumulados e intervalo de tempo horário - período 1.



(a) Intervalo diário

(b) Intervalo horário

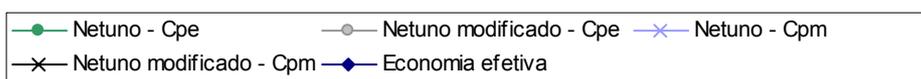
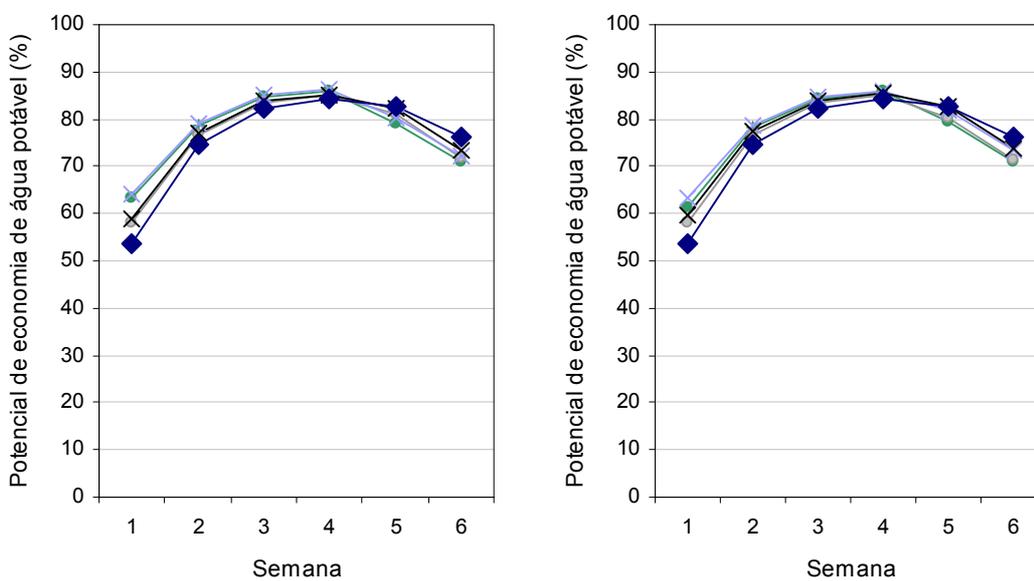


Figura 69. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais acumulados e diferentes intervalos de tempo - período 2.



(a) Intervalo diário

(b) Intervalo horário

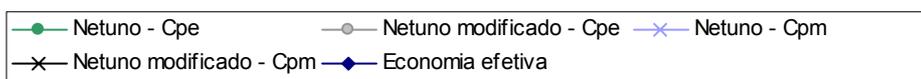
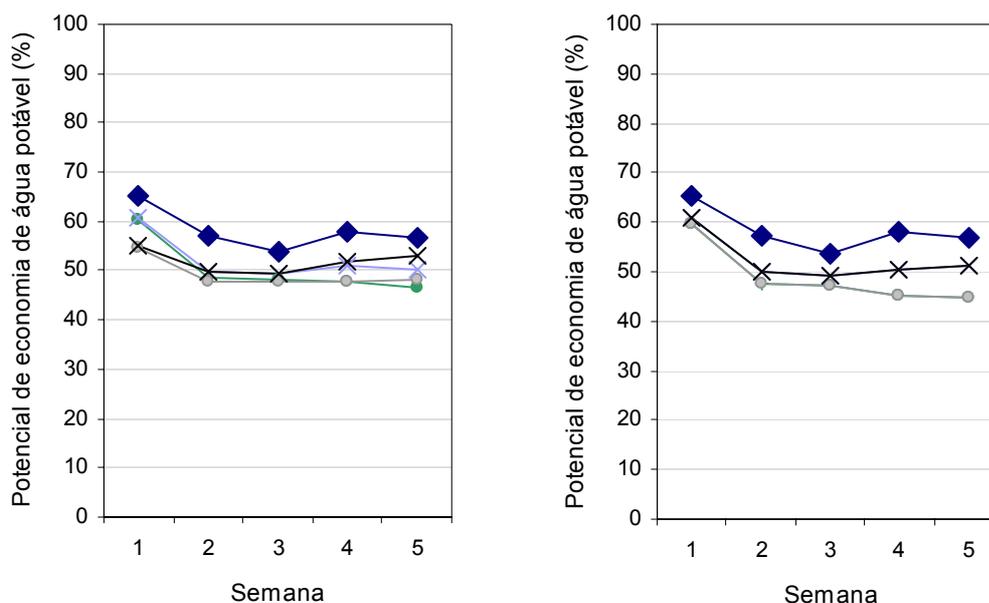


Figura 70. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais acumulados e diferentes intervalos de tempo - período 3.



(a) Intervalo diário

(b) Intervalo horário

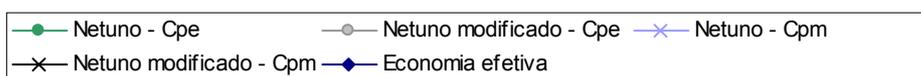


Figura 71. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados semanais acumulados e diferentes intervalos de tempo - período 4.

A Tabela 35 apresenta a máxima diferença acumulada entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável efetivas, para os períodos monitorados. Os valores mostrados foram selecionados no Apêndice 1, após a verificação das diferenças absolutas na última semana de cada período. Desperta à atenção, a diferença de 12,2% encontrada no período 4, para coeficiente de aproveitamento estimado e intervalo de tempo horário. Este valor é superior aos encontrados nos demais períodos, muito provavelmente, pelo rigor estatístico aplicado na avaliação do coeficiente de aproveitamento estimado e, também, por ter sido utilizada precipitação pluviométrica do INMET em substituição aos dados ausentes da Casa Eficiente. Neste caso, acredita-se ser mais razoável atentar para a diferença de 6,7%, obtida para intervalo de tempo diário e coeficiente de aproveitamento médio, a partir do algoritmo original do programa Netuno.

Tabela 35. Máxima diferença acumulada entre os potenciais de economia estimados pelos algoritmos e a economias de água potável efetivas, na última semana de cada período monitorado.

Período	Algoritmo	Intervalo de Tempo	Coefficiente de aproveitamento	Economia total de água potável (%)	Diferença absoluta (%)
1	Netuno modificado	Diário	Estimado	73,9	1,4
2	Ambos	Horário	Médio	48,7	4,5
3	Netuno	Ambos	Estimado	76,2	5,2
4	Netuno	Horário	Estimado	56,8	12,2

Comparando as diferenças acumuladas na última semana do 1^o período, entre as Tabelas 1 e 3, e 2 e 4, do Apêndice 1, percebe-se que há decréscimo na precisão das estimativas realizadas com o algoritmo original, para intervalo de tempo horário. Isto advém do fato de terem sido utilizados diferentes coeficientes de aproveitamento de água pluvial nas estimativas do potencial de economia de água potável, para intervalos de tempo horário e diário (Tabela 31). Diante disto, para melhorar a interpretação dos resultados, simulou-se novamente o potencial de economia para intervalo de tempo horário, considerando os coeficientes de aproveitamento obtidos para intervalo diário.

As Tabelas 36 e 37 mostram resumos com as diferenças entre os novos potenciais de economia e as economias de água potável efetivas, apenas para a última semana de cada período monitorado. Voltando a comparar as diferenças na última semana do 1^o período, mas tomando por base as Tabelas 36 e 37, em substituição as Tabelas 3 e 4 do Apêndice 1, verifica-se que houve aumento ou pelo menos constância na precisão das estimativas realizadas com o algoritmo original, para intervalo horário. Nos demais períodos avaliados, nem sempre a adoção de coeficientes de aproveitamento diários resultou em aumento de precisão nas estimativas horárias do potencial de economia de água potável.

Tabela 36. Resumo das diferenças entre os potenciais de economia estimados pelos algoritmos e as economias de água potável efetivas considerando intervalo de tempo horário e coeficientes de aproveitamento estimado diário.

Período	Netuno	Netuno modificado
1	-0,2	-1,2
2	3,9	3,9
3	-4,8	-4,3
4	-10,2	-10,2

Tabela 37. Resumo das diferenças entre os potenciais de economia estimados pelos algoritmos e as economias de água potável efetivas considerando intervalo de tempo horário e coeficientes de aproveitamento médio diário.

Período	Netuno	Netuno modificado
1	-0,2	-0,2
2	4,2	4,2
3	-3,7	-3,0
4	-6,5	-6,5

De modo geral, não existe uma tendência de aumento significativo de precisão ao se utilizar dados horários nas simulações do potencial de economia de água potável. Examinando as diferenças acumuladas na última semana de cada período, entre os potenciais de economia estimados com coeficientes de aproveitamento diários e horários, observa-se que em 6 casos dos 16 possíveis houve ganho de precisão nas estimativas dos algoritmos com dados horários. Nestes casos, o aumento médio de precisão foi de 0,8% e o máximo de 1,2%. Comparando também, as diferenças das Tabelas 1, 2, 5, 6, 9, 10, 13 e 14, do Apêndice 1, com os valores das Tabelas 36 e 37, percebe-se que houve melhora da precisão em 7 casos dos 16 possíveis, e constância nas predições de outros 4 casos, respectivamente, das simulações diárias para as horários. Nestas análises, o aumento médio de precisão foi de 0,4% e o máximo de 1,0%. Nos 5 casos restantes, a perda média de precisão foi de 1,6% e a máxima de 2,6%.

No tocante às simulações realizadas com o algoritmo modificado do programa Netuno, verificou-se mais proximidade com as economias de água potável efetivas. Examinando as diferenças acumuladas na última semana de cada período, entre os potenciais estimados e as economias de água potável

efetivas, observa-se que em 9 casos dos 16 possíveis houve aumento de precisão nas estimativas com o algoritmo modificado. Nestes casos, o aumento médio de precisão foi de 1,2% e o máximo de 2,8%. Comparando também, as diferenças das Tabelas 1, 2, 5, 6, 9, 10, 13 e 14, do Apêndice 1, com os valores das Tabelas 36 e 37, percebe-se que houve melhora da precisão em 8 casos dos 16 possíveis, e constância nas predições de outros 5 casos. Nestas análises, o aumento médio de precisão foi de 1,4% e o máximo de 2,8%. Nos 3 casos restantes, a perda média de precisão foi de 1,0%.

4.2.2.3. Avaliação para demandas médias de água potável e pluvial

As Figuras 72 a 74 mostram os resultados de simulações complementares para o potencial de economia de água potável, adotando-se demandas médias de água potável e pluvial e coeficiente de aproveitamento médio. As estimativas foram realizadas considerando os valores da Tabela 38, a precipitação obtida na estação da Casa Eficiente para os dois períodos iniciais de monitoramento e a precipitação da estação automática do INMET para os dois períodos finais de monitoramento. O coeficiente de variação expressa quanto pode ter variado as demandas diárias de água potável e pluvial em relação às demandas médias.

Tabela 38. Demandas médias de água potável e pluvial e coeficiente de variação.

Período	Demanda média de água pluvial (litros/dia)	Coeficiente de variação (%)	Demanda média de água potável (litros/dia)	Coeficiente de variação (%)
1	279	± 39,4	361	± 36,8
2	293	± 11,6	428	± 24,5
3	607	± 22,2	717	± 23,5
4	624	± 54,5	861	± 42,0

Como se observa, as curvas dos potenciais de economia são similares à economia de água potável, principalmente nos períodos 1 e 2. Nestes períodos, o algoritmo modificado do programa Netuno é o que melhor prediz o potencial de economia, apresentando diferenças médias para a economia de água potável de 1,2% e 3,0%, respectivamente. Nos outros dois períodos, o algoritmo original tem melhor desempenho, apresentando diferenças médias para a economia de água potável de 6,1%, para o período 3, e de 3,9% para o período 4.

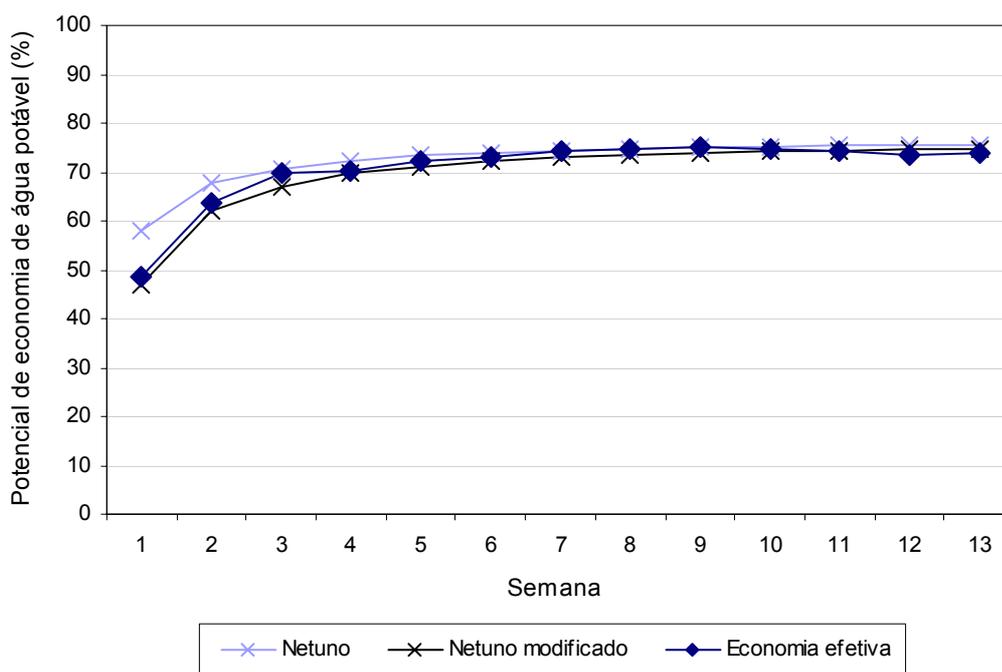
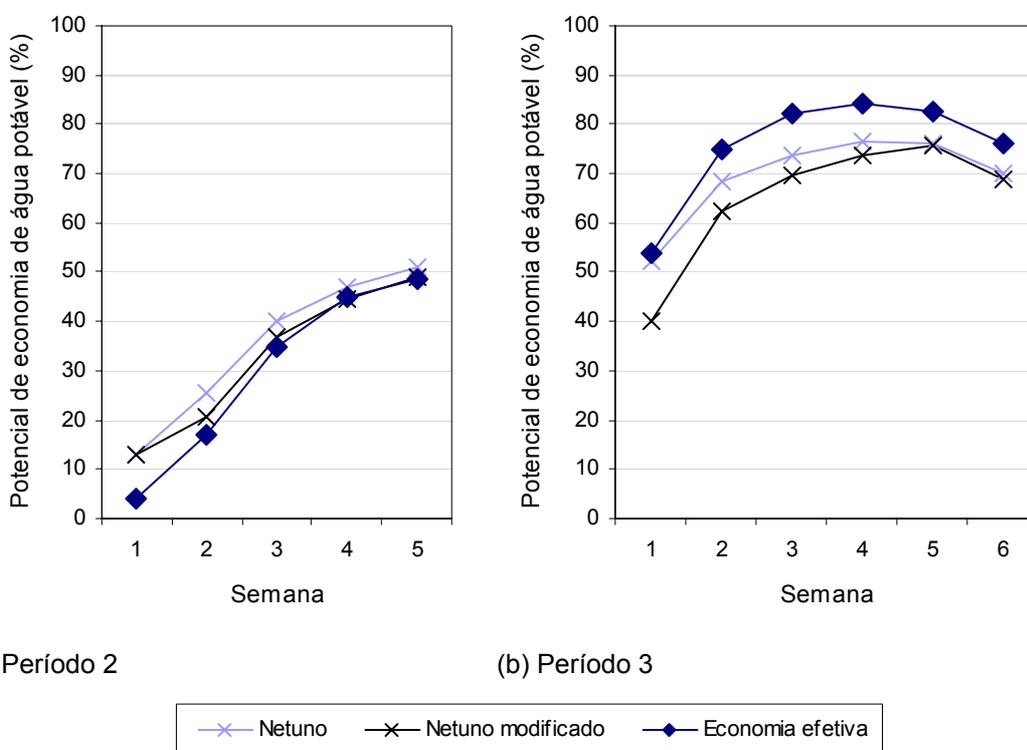


Figura 72. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando demandas médias de água potável e pluvial, coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário - período 1.



(a) Período 2

(b) Período 3

Figura 73. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando demandas médias de água potável e pluvial, coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário - períodos 2 e 3.

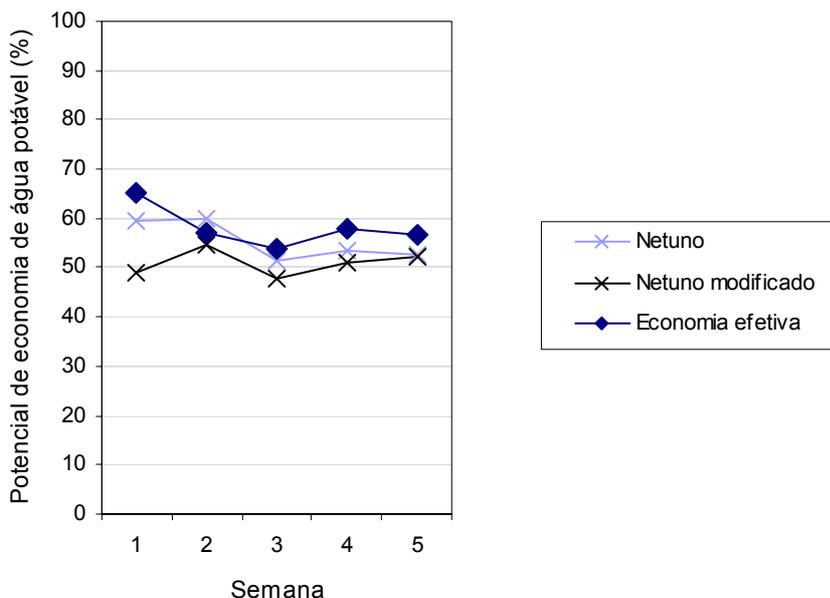


Figura 74. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando demandas médias de água potável e pluvial, coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário - período 4.

4.3. Avaliação da influência de diferentes índices pluviométricos no potencial de economia de água potável

Em alguns estudos sobre aproveitamento de água pluvial pode ser necessário utilizar dados de precipitação de estações meteorológicas distantes do local da edificação, conforme ficou implícito no terceiro capítulo.

As análises a seguir apresentadas são baseadas nas diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável obtidas na Casa Eficiente, para dados de precipitação das estações meteorológicas relacionadas na Tabela 24. Nas estimativas, considerou-se coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário. No Apêndice 2 podem ser verificados os dados que originaram as comparações.

As curvas ilustradas nas Figuras 75 a 77 mostram os potenciais de economia de água potável estimados com dados de precipitação das diferentes

estações meteorológicas¹². Em geral, percebe-se que a dispersão entre os potenciais estimados e as economias de água potável efetivas é maior do que a verificada nos outros resultados já apresentados.

Ao longo do período 1, a estação automática do INMET é a que melhor prediz o potencial de economia de água potável, apresentando diferença acumulada de no máximo 2,6%, para uma economia de água potável de 73,9%. Este resultado condiz com as semelhanças verificadas com os dados de precipitação da estação da Casa Eficiente. Porém, percebe-se que há inversão da tendência nas estimativas do potencial de economia. Verificando a Figura 67, onde se utilizou dados de precipitação da Casa Eficiente, observa-se que os potenciais estimados são menores que as economias de água potável efetivas. Por outro lado, com os dados da estação automática do INMET (Figura 75), os potenciais de economia preditos são maiores que as economias de água potável. A estação convencional da EPAGRI, apesar de mais distante da Casa Eficiente, e com registro de precipitação total bem inferior às demais estações, também apresenta resultados satisfatórios.

No segundo período, a precipitação da estação automática do INMET novamente propicia os melhores resultados para o potencial de economia de água potável, tanto para o algoritmo original quanto para o modificado. A maior diferença encontrada entre o potencial de economia estimado e a economia efetiva é de 3,8%, para uma economia de água potável de 48,7%. Esse valor é inferior a diferença de 4,2% quando se utiliza dados de precipitação da estação da Casa Eficiente. De forma semelhante, com dados da estação automática da EPAGRI, verifica-se uma diferença de apenas 3,9% entre o potencial e a economia de água potável. Trata-se, portanto, da estação com a menor precipitação registrada no segundo período (Tabela 28) e a mais próxima da Casa Eficiente (Figura 35).

Estima-se que os bons resultados obtidos para os dois períodos iniciais da pesquisa sejam decorrentes das baixas demandas de água pluvial (279 e 293

¹² O número de estações utilizadas para cada período avaliado varia em função da disponibilidade de dados de precipitação, conforme os valores apresentados na Tabela 28.

litros/dia) quando se leva em conta: o volume do reservatório inferior (2.941 litros); a área de captação (120,72m²); e as precipitações mensais ocorridas, superiores à média histórica de Florianópolis (Figura 48).

No terceiro período, os potenciais de economia mais precisos foram estimados através da precipitação da estação convencional do INMET e, em seguida, pela estação automática da EPAGRI. A Figura 77a ilustra dispersões expressivas entre os potenciais e as economias de água potável no começo desse período. Todavia, ao longo do tempo, é possível verificar sensível redução nessa variabilidade, contrário ao que acontece no quarto período como mostra a Figura 77b. Neste período, as estimativas mais precisas para os potenciais de economia de água potável foram realizadas com dados de precipitação da estação convencional do INMET, para o algoritmo original do programa Netuno, e com dados da estação automática da EPAGRI, para o algoritmo modificado.

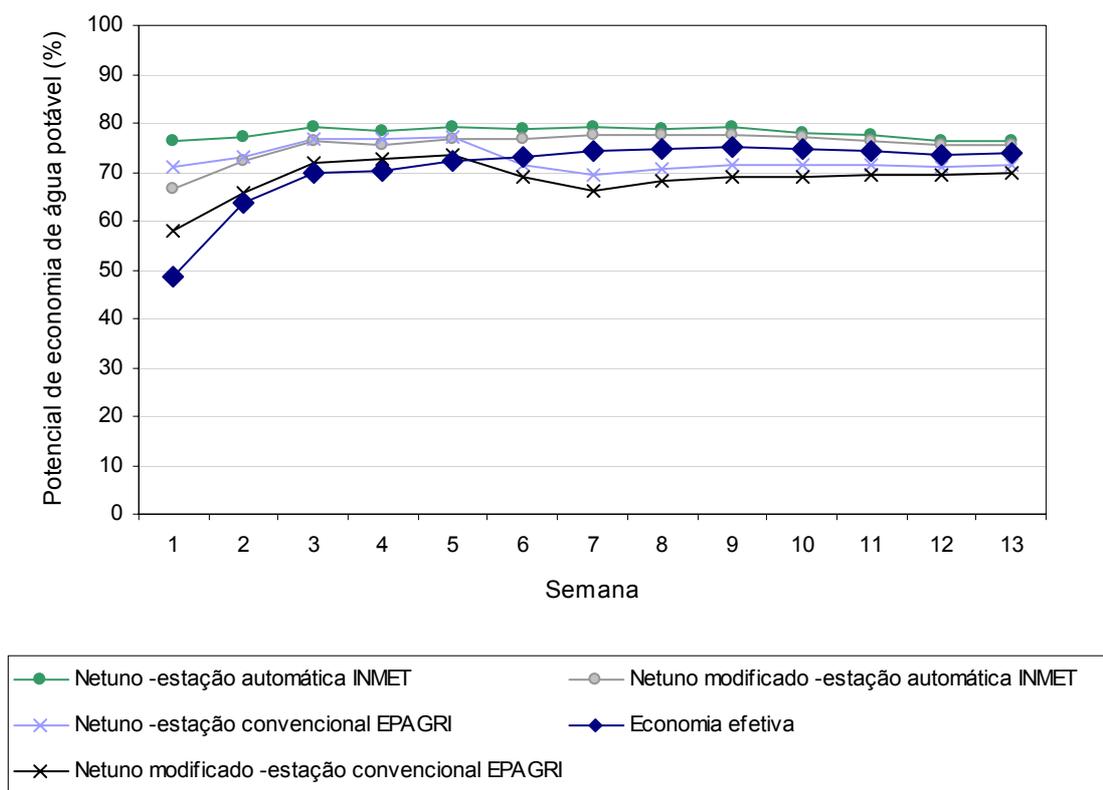


Figura 75. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados de precipitação de diferentes estações meteorológicas, coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário - período 1.

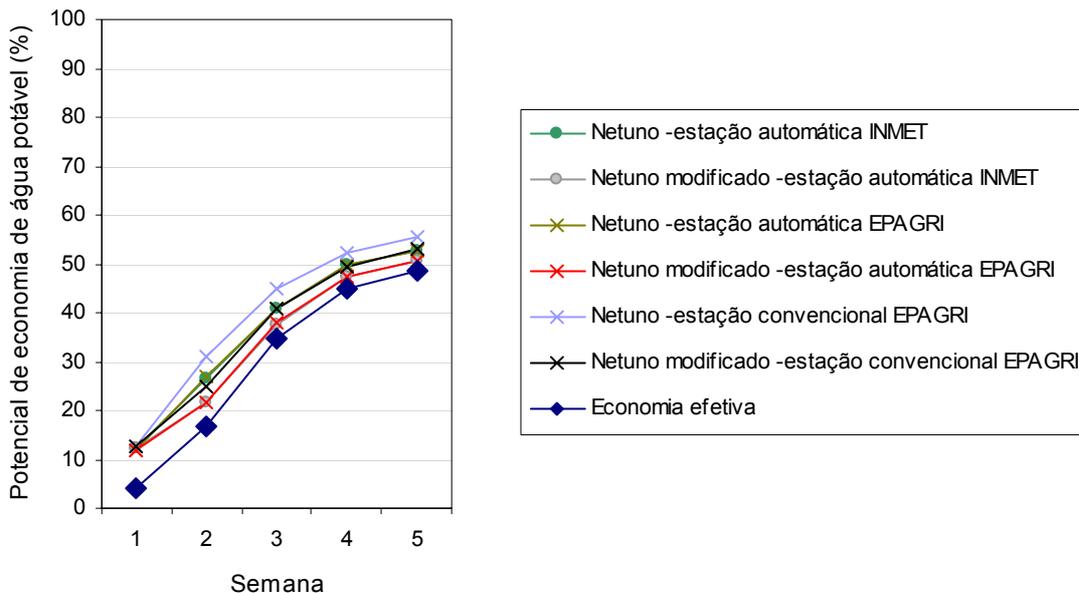
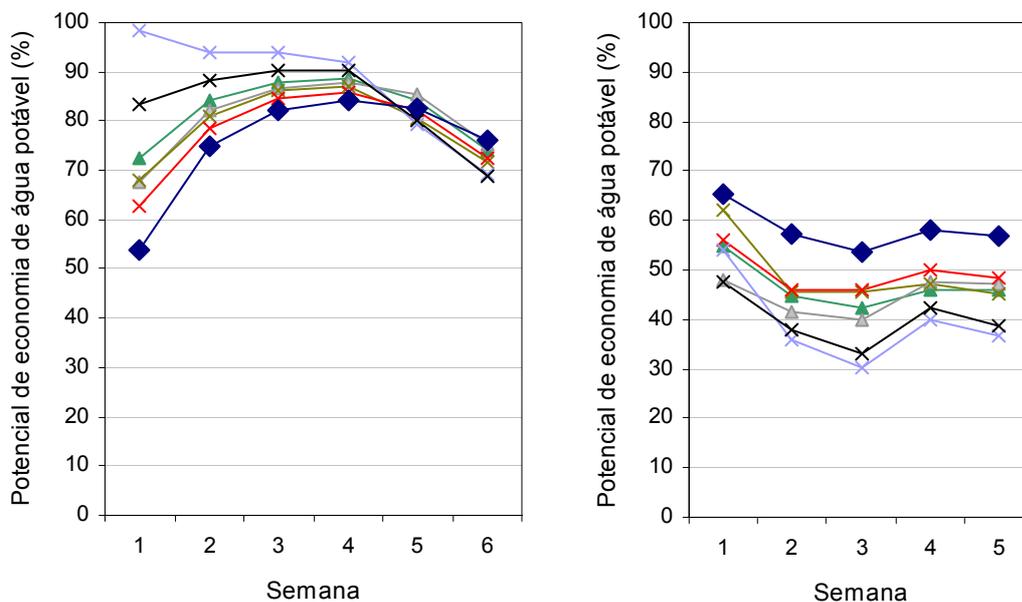


Figura 76. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados de precipitação de diferentes estações meteorológicas, coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário - período 2.



(a) Período 3

(b) Período 4

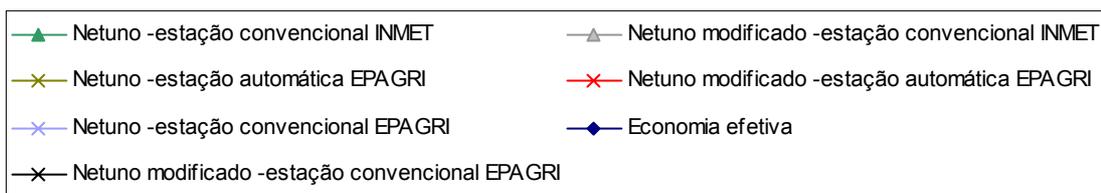


Figura 77. Potencial de economia estimado e economia de água potável efetiva considerando dados de precipitação de diferentes estações meteorológicas, coeficiente de aproveitamento médio e intervalo de tempo diário - períodos 3 e 4.

5. Conclusões

5.1. Conclusões gerais

A eficiência de um sistema de aproveitamento de água pluvial é afetada sobretudo pelo dimensionamento do reservatório de armazenamento dessa água. O dimensionamento adequado é essencial para evitar a operação do reservatório de forma ociosa ou insuficiente. Este trabalho objetivou validar o algoritmo do programa computacional Netuno, utilizado para avaliar o potencial de economia de água potável e o dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial em edificações.

Na revisão bibliográfica foram levantados aspectos relevantes para a definição dos parâmetros empregados na metodologia, dentre os quais, cita-se: o consumo de água potável no Brasil, os usos finais de água no setor residencial e o coeficiente de aproveitamento de água pluvial. O estudo dos métodos de dimensionamento de reservatórios, contribuiu para a proposição de uma versão modificada do algoritmo do programa Netuno.

A metodologia adotada mostrou-se apropriada para o tratamento dos dados coletados no sistema de aproveitamento de água pluvial da Casa Eficiente. A partir desses resultados, avaliou-se o consumo de água potável e pluvial, e o coeficiente de aproveitamento de água pluvial. Com relação aos coeficientes de aproveitamento obtidos para intervalo de tempo horário e diário, constatou-se a validade destes para aferir o volume aproveitável de água pluvial - variável essencial para as simulações realizadas com os algoritmos do programa Netuno. Mesmo assim, os coeficientes de aproveitamento médio e estimado foram considerados baixos e podem ser inadequados para utilização em outros estudos sobre aproveitamento de água pluvial.

Na segunda etapa dos resultados, apresentou-se, primeiramente, as economias de água potável efetivamente obtidas na residência estudada, através do descarte de água. Pode-se verificar a pouca influência das

economias calculadas independentemente a cada semana, na economia acumulada ao longo dos períodos avaliados. Além disso, em nenhum dos períodos monitorados foi possível atender totalmente a demanda de água pluvial.

Em seguida, comparou-se os potenciais de economia de água potável estimados independentemente a cada semana pelos algoritmos do Netuno, frente às economias individuais de água potável. Observou-se que quando se dispunha de água nos reservatórios para atendimento integral da demanda de água pluvial, os potenciais de economia eram idênticos às economias de água potável obtidas. Isto ocorreu em meses de precipitações superiores à média histórica de Florianópolis, permitindo concluir que em períodos chuvosos os algoritmos do programa Netuno predizem satisfatoriamente o potencial de economia de água potável.

Por outro lado, nos casos em que isso não aconteceu, verificou-se diferenças significativas entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável obtidas. No entanto, evidenciou-se que o efeito dessas desigualdades é minimizado nas estimativas com dados semanais acumulados. Diante disto, esse modo foi considerado o melhor para avaliar a qualidade das estimativas com os algoritmos do programa Netuno, até porque é comum fazer uso de séries longas de precipitação nos estudos realizados com o programa.

Os principais resultados do trabalho foram apresentados no item 4.2.2.2. Através deles, verificou-se que normalmente os potenciais de economia estimados com dados semanais acumulados são similares às economias de água potável. Nos três períodos inicialmente monitorados, pôde-se perceber que a diferença entre o potencial de economia predito e a economia de água potável efetiva tende a diminuir ao longo das semanas. Isto vale para os dois intervalos de tempo considerados nas simulações e, também, para os dois algoritmos do Netuno (original e modificado).

No quarto período avaliado, elevou-se o tempo de descarte de água para avaliar a eficiência dos algoritmos em situações extremas, ou seja, quando não

se dispõe de água pluvial para atender integralmente a demanda. Nessas ocasiões, percebeu-se que as estimativas do potencial de economia são mais sensíveis às características de operação do sistema de aproveitamento de água pluvial. Ao final do quarto período, a maior diferença¹³ entre o potencial de economia estimado e a economia efetiva foi de 6,7% (ou 11,8% em valor relativo), para uma economia de água potável de 56,8%. Trata-se de uma diferença considerável, mas de pouca representatividade para afirmar que o potencial de economia foi mal estimado. Corrobora para isto, a brevidade do quarto período monitorado e a variação das diferenças (para mais ou para menos) em relação ao percentual de 6,7%, entre as semanas desse período.

Constatou-se também que o uso de coeficientes de aproveitamento estimados ou médios, resultou em diferenças insignificantes no potencial de economia de água potável; a exceção do quarto período. Neste caso, julgou-se mais apropriada à análise dos potenciais de economia para as estimativas realizadas com o coeficiente de aproveitamento médio.

Diante do exposto, a principal conclusão que se obtém do trabalho é que o algoritmo do programa Netuno prediz adequadamente o potencial de economia de água potável obtido através do aproveitamento de água pluvial em edificações. Portanto, o uso desse algoritmo é válido em novos estudos sobre o aproveitamento de água pluvial.

Com relação ao intervalo de tempo mais adequado para estimar o potencial de economia de água potável, verificou-se que o uso de dados horários nas simulações não resultou em um aumento significativo de precisão nas estimativas de desempenho do sistema de aproveitamento de água pluvial. Em alguns casos, inclusive, houve perdas superiores aos ganhos de precisão com a adoção de dados nessa base de tempo. Desse modo, para casos semelhantes ao desta pesquisa, tais como edificações com perfis de demanda de água pluvial mais concentrado em alguns momentos do dia, é conveniente o uso de dados diários para avaliar o potencial de economia de água potável.

¹³ Considerando intervalo de tempo diário, coeficiente de aproveitamento de água pluvial médio, e estimativa do potencial de economia de água potável com o algoritmo original do programa Netuno.

Quanto à utilização de valores médios para as demandas de água e para o coeficiente de aproveitamento de água pluvial, percebeu-se que as curvas dos potenciais de economia estimados são similares à economia de água potável, apesar dos significativos coeficientes de variação encontrados. Mesmo assim, em novos estudos com os algoritmos do programa Netuno, é recomendável que se avalie a sensibilidade do potencial de economia para faixas de variação das demandas de água e do coeficiente de aproveitamento.

Finalmente, na última etapa do capítulo anterior, investigou-se a influência de dados pluviométricos obtidos em diferentes estações meteorológicas de Florianópolis, no potencial de economia de água potável. Nessas análises, observou-se maior desvio entre os potenciais de economia preditos e as economias de água potável efetivas, em comparação aos demais resultados apresentados. Por esse motivo, é importante adotar os dados pluviométricos da estação meteorológica mais próxima à edificação, para que se tenha precisão nas estimativas do potencial de economia de água potável.

5.2. Limitações do trabalho

As principais limitações deste trabalho são as seguintes:

- Deixar de ocupar a residência estudada com moradores no período da pesquisa, situação ideal para a validação do algoritmo;
- Falha na coleta de dados de precipitação da estação meteorológica da Casa Eficiente e, por consequência, utilização de dados da estação automática do INMET em parte do período avaliado;
- Não coletar dados em um único período ininterrupto e pelo menos por um ano, para que fossem abrangidos doze meses continuamente;
- Inexistência de instrumento e/ou dispositivo para medição direta do volume captado de água pluvial na cobertura da Casa Eficiente;
- Inexistência de instrumento e/ou dispositivo para medição do volume extravasado do reservatório inferior de água pluvial, impossibilitando o estudo mais aprofundado dos coeficientes de aproveitamento de água pluvial;

- Ausência de transmissor de nível hidrostático com menor incerteza de medição e para fundo de escala de 1mca; mais adequado, portanto, ao volume do reservatório inferior de água pluvial.

5.3. Sugestões para trabalhos futuros

Concluído o trabalho, algumas sugestões para trabalhos futuros podem ser mencionadas:

- Aprimorar o algoritmo para que sejam consideradas mais particularidades dos sistemas de aproveitamento de água pluvial;
- Comparar o programa Netuno com outros métodos de dimensionamento de reservatórios;
- Realizar novas análises com o algoritmo em outros tipos de edificações, tais como edifícios comerciais e públicos, industriais e residenciais multifamiliares;
- Analisar a viabilidade econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial dimensionados através do programa Netuno, considerando o ciclo de vida dos sistemas;
- Ampliar os estudos sobre usos finais de água para diversas tipologias de edificações;
- Ampliar os estudos sobre o período mínimo de anos de precipitações a ser utilizado em simulações do potencial de economia de água potável;
- Avaliar a eficiência de dispositivos para desvio de escoamento inicial das chuvas e descarte de folhas e detritos;
- Investigar, experimentalmente, coeficientes de aproveitamento de água pluvial para coberturas de edificações brasileiras.

Referências bibliográficas

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527: Água de chuva- Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis- Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Water resources management in Brazil**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb/doc/WRMB/index.htm>. Acesso em: maio de 2004a.

_____. **Agricultura irrigada e o uso racional da água**. Brasília, 2004b.

_____. **Situação da água no mundo**. Brasília, 2005a.

_____. **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Estudo técnico. Caderno de recursos hídricos. Brasília, 2005b.

_____. **Plano nacional de recursos hídricos: panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil**. Brasília, 2006.

ANNECCHINI, K.P.V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória, ES**. 2005. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

APPAN, A. Some aspects of roofwater collection in a subtropical region. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAINWATER CISTERN SYSTEMS, 1st, 1982, Honolulu, United States. **Proceedings...** Honolulu: IRCSA, 1982.

APPAN, A. Trends in water demands and the role of rainwater catchment systems in the next millennium. In: INTERNATIONAL RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS CONFERENCE, 9th, 1999, Petrolina, Brazil. **Proceedings...** Petrolina: IRCSA, 1999a.

APPAN, A. A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable uses. **Urban Water**, v.1, n.4, p.317-321, 1999b.

AYDIN, M. Water as a means of reconciliation in the Middle East. In: INTERNATIONAL RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS CONFERENCE, 9th, 1999, Petrolina, Brazil. **Proceedings...** Petrolina: IRCSA, 1999.

BALD, E.; XAVIER, T.F. **Projeto de instalações para o centro de cidadania campeche: aplicação de sistemas economizadores de energia e água.** 2004. 92p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

BATISTA, J.A.N.; ANDRADE; E.G.C.; MATTOS, A. Estudo de comparação entre os métodos de Rippl e do eng. Francisco Aguiar: uma análise do aproveitamento da sub-bacia do açude pau dos ferros/RN. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 5, 2000, Natal, Brasil. **Anais...** Natal: ABRH, 2000.

BATISTA, J.O.; GHISI, E. Potencial de economia de água tratada através do aproveitamento de águas pluviais no semi-árido alagoano. In: Simpósio Nacional de Sistemas Prediais, 9, Goiânia, Brasil. **Anais...** Goiânia: ANTAC, 2005.

BRANVALL, G.; ERIKSSON, M.; JOHANSSON, U.; SVENSSON, P. **Physical and monetary data connected to abstraction, use and discharge of water in the Swedish NAMEA.** Statistika centralbyran (Statistics Sweden), 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1961-1990).** Brasília, 1992.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria Nacional de Política Urbana. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. **Documento técnico de apoio nº E1.** Brasília, 1998.

CAMPOS, M.A.S. **Aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Carlos.** 2004. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

CARDOSO, K.A. **Avaliação do período mínimo de precipitações pluviométricas a ser utilizado em estudos sobre aproveitamento de água pluvial em edificações**. 2006. 185p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CHOW, V.T. **Handbook of applied hydrology: a compendium of water-resources technology**. New York: McGraw-Hill, 1964.

CHOWDHURY, N.I.; AHMED, M.F.; CHOUDHURY, J.R.; TURNER, A.K. Rainwater as a source of domestic water supply in the coastal areas of Bangladesh. In: INTERNATIONAL RAINWATER CISTERN SYSTEMS CONFERENCE, 3rd, 1987, Khon Kaen, Thailand. **Proceedings...** Khon Kaen: IRCSA, 1987.

COELHO FILHO, J.M. **Análise do desempenho de reservatório de armazenamento de água de chuva no suprimento domiciliar e controle do escoamento nas cidades de Natal e Caicó**. 2005. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

COOMBES, P.J.; ARGUE, J.R.; KUCZERA, G. Figtree Place: a case study in water sensitive urban development (WSUD). **Urban Water**, v.1, n.4, p.335-343, 1999.

DENG, S. Energy and water uses and their performance explanatory indicators in hotels in Hong Kong. **Energy and Buildings**, v.35, n.8, p.775-784, 2003.

DOMÍNGUEZ, M.A.; SCHILLER, E.; SERPOKRYLOZ, N. Sizing of rainwater storage tanks in urban zones. In: INTERNATIONAL RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS CONFERENCE, 10th, 2001, Mannheim, Germany. **Proceedings...** Mannheim: IRCSA, 2001.

DEOREO, W.B.; HEANEY, J. P.; MAYER, P. W. Flow trace analysis to assess water use. **Journal American Water Works Association**, v.88, n.1, p.79-90, 1996.

DTU. Development Technology Unit. **Very-low-cost domestic roofwater harvesting in the humid tropics: existing practice**. United Kingdom: School of Engineering, University of Warwick, 2002. Disponível em: <http://www.eng.warwick.ac.uk>. Acesso em: dezembro de 2006.

E-FÍSICA. Ensino de Física On-line. **Conceitos básicos para expressão de incertezas**. Brasil: Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em: <http://efisica.if.usp.br/mecanica/universitario/incertezas/terminologia>. Acesso em: janeiro de 2009.

FEITELSON, E.; CHENOWETH, J. Water poverty: towards a meaningful indicator. **Water Policy**, v.4, n.3, p.263-281, 2002.

FENDRICH, R. **Dimensionamento de reservatórios de detenção e utilização das águas pluviais**. 2004. 28p. Relatório técnico - Curso de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2004.

FEWKES, A. The instrumentation of rainwater collection system for field trials in the UK. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS, 6th, 1993, Nairobi, Kenya. **Proceedings...** Nairobi: IRCSEA, 1993.

FEWKES, A. The field testing of a rainwater collector. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS, 7th, 1995, Beijing, China. **Proceedings...** Beijing: IRCSEA, 1995.

FEWKES, A. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. **Building and Environment**, v.34, n.6, p.765-772, 1999a.

FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. **Urban Water**, v.1, n.4, p.323-333, 1999b.

FEWKES, A.; BUTLER, D. The Sizing of Rainwater Stores Using Behavioural Models. In: INTERNATIONAL RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS CONFERENCE, 9th, 1999, Petrolina, Brazil. **Proceedings...** Petrolina: IRCSEA, 1999.

FEWKES, A; FERRIS, S.A. Rain and waste water reuse for toilet flushing: a simulation model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAINWATER CISTERN SYSTEMS, 1st, 1982, Honolulu, United States. **Proceedings...** Honolulu: IRCSA, 1982.

FEWKES, A.; FRAMPTON, D.I. Optimizing the capacity of rainwater storage cisterns. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS, 6th, 1993, Nairobi, Kenya. **Proceedings...** Nairobi: IRCSA, 1993.

FIORI, S. **Avaliação qualitativa e quantitativa do potencial de reúso de água cinza em edifícios residenciais multifamiliares**. 2005. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2005.

FRASIER, G.W. **Proceedings of water harvesting symposium**. Berkeley: USDA (United States Agricultural Research Service), 1975.

GARCEZ, L.N. **Elementos de engenharia hidráulica e sanitária**. São Paulo: Edgard Blucher, 1976.

GHISI, E.; Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**, v.41, n.11, p.1544-1550, 2006a.

GHISI, E. **Influência da precipitação pluviométrica, área de captação, número de moradores e demandas de água potável e pluvial no dimensionamento de reservatórios para fins de aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares**. 2006. 63p. Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Civil como requisito parcial para participação em concurso público - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006b.

GHISI, E.; BRESSAN, D.L.; MARTINI, M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. **Building and Environment**, v.42, n.4, p.1654-1666, 2007.

GHISI, E.; FERREIRA, D.F.; Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building and Environment**, v.42, n.7, p.2512-2522, 2007.

GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R.W. Potential for potable water savings by using rainwater: an analysis over 62 cities in southern Brazil. **Building and Environment**, v.41, n.2, p.204-210, 2006.

GHISI, E.; OLIVEIRA, S.M. de; Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. **Building and Environment**, v.42, n.4, p.1731-1742, 2007.

GHISI, E.; TRÉS, A.C.R. **Netuno - uso de água pluvial em edificações residenciais**. Programa computacional. Florianópolis, 2004. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br>. Acesso em: março de 2006.

GOODARZI, M.; CHARKHABI, A.H. Sustainable water resources management in arid and semiarid regions of the world: a case study in Iran. In: INTERNATIONAL RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS CONFERENCE, 9th, 1999, Petrolina, Brazil. **Proceedings...** Petrolina: IRCSA, 1999.

GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da água da chuva**. Curitiba: Organic Trading Editora, 2002.

HAMMERSLEY, J.M.; HANDSCOMBE, D.C. **Monte Carlo methods**. London: Methuen, 1964.

HANDIA, L.; TEMBO, J.M.; MWIINDWA, C. Potential of rainwater harvesting in urban Zambia. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.28, n.20-27, p.893-896, 2003.

HAUGHT, D.; WYCKOFF, I. **Water project**. Disponível em: <http://www.awish-hellas.org/publications.html>. Acesso em: dezembro de 2006.

HERNANDES, A.T.; CAMPOS, M.A.S.; AMORIM, S.V. Análise de custo da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para uma residência unifamiliar na cidade de Ribeirão Preto. In: ENCONTRO NACIONAL

DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2004, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1, 2004, São Paulo, Brasil. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

HERNANDES, A.T.; AMORIM, S.V. Avaliação quantitativa e qualitativa de um sistema de aproveitamento de água pluvial em uma edificação na cidade de Ribeirão Preto. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, 2006, Florianópolis, Brasil. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, v.1, n.4, p.307-316, 1999.

HOFKES, E.H. **Rainwater harvesting for drinking water supply and sanitation**. London: International reference center for communing water supply, 1981.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: maio de 2004.

JENKINS, D.; PEARSON, F.; MOORE, E.; SUN, J.K.; VALENTINE, R. **Feasibility of rainwater collection systems in California**. Contribution nº 173. Davis: Californian Water Resources Centre, University of California, 1978.

JUDKOFF, R.; NEYMARK, J. The Bestest Method for Evaluating and Diagnosing Building Energy Software. In: ACEEE SUMMER STUDY ON ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS, 1998. **Proceedings...** Monterey - Califórnia, 1998. v.5, p 175-190.

KAMMERS, P.C. **Projeto de instalações hidráulicas com aproveitamento de água pluvial em um edifício residencial multifamiliar localizado em Florianópolis**. 2007. 94p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

KHAN, M.A. Traditional water management systems of western Rajasthan. In: CONGRESS ON TRADITIONAL SCIENCE AND TECHNOLOGY OF INDIA, 2nd, 1995, Madras, India. **Proceedings...** Madras: Anna University, 1995.

KHAN, M.A. Domestic roof water harvesting technology in Thar Desert. In: RAINWATER HARVESTING CONFERENCE, 2001, New Delhi, India. **Proceedings...** New Delhi: IITD, 2001.

LIAW, C.; TSAI, Y. Optimum storage volume of rooftop rain water harvesting systems for domestic use. **Journal American Water Resources Association**, v.40, n.4, p.901-912, 2004.

MACIEL, A.A.; ANDRADE, S.F. DE; GUGEL, E.C.; BATISTA, J.O.; MARINOSKI, D.L.; LAMBERTS, R. Projeto casa eficiente: demonstração de eficiência energética em habitação unifamiliar. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11, 2006, Florianópolis, Brasil. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006.

MARINOSKI, D.L.; GHISI, E.; GÓMEZ, L.A. Aproveitamento de água pluvial e dimensionamento de reservatório para fins não potáveis: estudo de caso em um conjunto residencial localizado em Florianópolis-SC. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2004, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1, 2004, São Paulo, Brasil. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

MARINOSKI, A.K.; ANDRADE, M.A.N; LAMBERTS, R.; ROCHA, V.L. **Casa Eficiente: uso racional da água**. Florianópolis, 2009.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 159p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MAY, S.; PRADO, R.T.A. Estudo da qualidade da água de chuva para consumo não potável em edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2004, e CONFERÊNCIA LATINO-

AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1, 2004, São Paulo, Brasil. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

MATHIS, J.E. The rationale for reservoirs. In: GEORGIA WATER RESOURCES CONFERENCE, 2003, Georgia, United States. **Proceedings...** Georgia: University of Georgia, 2003.

MCCMAHON, T.A.; MEIN, R.G. **Reservoir capacity and yield**. Developments in water science. Amsterdam: Elsevier, 1978.

MORAN, P.A.P. **The theory of storage**. London: Methuen, 1959.

MIELI, J. C. de A. **Reuso de água domiciliar**. 2001. 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2001.

PACEY, A.; CULLIS, A. **Rainwater Harvesting**. Great Britain Photobooks, 1996.

PALMIER, L.R. Técnicas de captação de água de chuva: definição, causas de falhas e perspectivas. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 15, 2003, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2003.

PETERS, M. **Potencialidade de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial**. 2006. 109p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PIRES, K.O.; ROTHSTEIN, R.; ROCHA, V.L. **Estudo da captação e uso de águas pluviais em edificações. Estudo de caso: CEFET-Pr unidade de Ponta Grossa**. 2004. 106p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2004.

PRUDÊNCIO, L.R. **Métodos estatísticos**. Apostila de aula. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2002.

RIJSBERMAN, F.R. Water scarcity: fact or fiction? **Agricultural water management**, v.80, n.1-3, p.5-22, 2006.

ROCHA, V.L. **Análise comparativa entre o método de Rippl e o programa computacional Netuno para dimensionamento de reservatórios destinados ao armazenamento de águas pluviais**. Trabalho apresentado à disciplina de Uso Racional de Água em Edificações, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

ROEBUCK, R.M.; ASHLEY, R.M. Predicting the hydraulic and life-cycle cost performance of rainwater harvesting systems using a computer based modelling tool. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE MODELLING, 7th, Melbourne, Australia. **Proceedings...** Melbourne: ICMS, 2006.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Disponível em: http://200.144.74.11/pura/noticias_dados/dados_consumo.htm. Acesso em: janeiro de 2007.

SANTANA, M.V. **Análise de consumo de água: condomínio residencial em Florianópolis**. Trabalho apresentado à disciplina de Uso Racional de Água em Edificações, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SAVENIJE, H.H.G. Water scarcity indicators: the deception of the numbers. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.25, n.3, p.199-204, 2000.

SCHILLER E.; LATHAM, B. **Rainwater roof catchment systems, information and training for low-cost water supply and sanitation**. World Bank, 1982a.

SCHILLER E.; LATHAM, B. Computerized methods in optimizing rainwater catchment systems. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAINWATER CISTERN SYSTEMS, 1st, 1982, Honolulu, United States. **Proceedings...** Honolulu: IRCSA, 1982b.

SIMIONI, W.I.; GHISI, E.; GÓMEZ, L.A. Potencial de economia de água tratada através do aproveitamento de águas pluviais em postos de combustíveis: estudos de caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10, 2004, e CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1, 2004, São Paulo, Brasil. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos - 2005**. Parte 1. Visão geral da prestação de serviços. Brasília, 2006.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: janeiro de 2007.

SUDSOLUTIONS. Sustainable drainage solutions. Disponível em: <http://www.sudsolutions.com>. Acesso em: janeiro de 2007.

TOMAZ, P. **Economia de água para empresas e residências**: um estudo atualizado sobre o uso racional da água. São Paulo: Navegar Editora, 2001.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**: para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

UN. United Nations, **World Population Prospects: The 2004 Revision**. New York, United States, 2005.

UNEP. United Nations Environment Programme, **Global Environment Outlook 3**: past, present and future perspectives. Earthscan, United Kingdom, 2002.

VAES, G. BERLAMONT, J. The impact of rainwater reuse on combined sewer overflow (CSO) emissions. **Water Science and Technology**, v.39, n.5, p.57-64, 1999.

VAISALA. **Industrial instruments**. Disponível em: <http://www.vaisala.com>. Acesso em: janeiro de 2009.

VILLARREAL, E.L.; DIXON, A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. **Building and Environment**, v.40, n.9, p.1174-1184, 2005.

VISHNAWATH, S. A estrutura conceitual para a captação e manejo de água de chuva em um contexto urbano: o exemplo de Bangalore, Índia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 5, 2005, Teresina, Brasil. **Anais...** Petrolina: ABCMAC, 2005.

WATERFALL, P.H. **Harvesting rainwater for landscape use**. Tucson: University of Arizona, 2004. Disponível em: <http://cals.arizona.edu/pubs/water/>. Acesso em: junho de 2006.

WAWERU, D.W. Influence of rainfall amount and distribution on rainwater catchment system design. In: INTERNATIONAL RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS CONFERENCE, 9th, 1999, Petrolina, Brazil. **Proceedings...** Petrolina: IRCSA, 1999.

WERNECK, G.A.M. **Sistemas de utilização da água da chuva nas edificações: o estudo de caso da aplicação em escola de Barra do Piraí, RJ**. 2006. 283p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

WESTPHAL, F.S. **Desenvolvimento de um algoritmo para estimativa do consumo de energia elétrica de edificações não residenciais a partir de dados climáticos simplificados**. 2002. 94p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ZAHRA, B.A.A.A.; Water crisis in Palestine. **Desalination**, v.136, n.1-3, p.93-99, 2001.

ZAIZEN, M.; URAKAWA, T.; MATSUMOTO, Y.; TAKAI, H. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. **Urban Water**, v.1, n.4, p.355-359, 1999.

Apêndices

Apêndice 1. Diferenças entre os potenciais de economia estimados pelos algoritmos e as economias de água potável efetivas das figuras do item 4.2.2.2.

Tabela A1.1. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 67, para intervalo diário e coeficiente de aproveitamento estimado (período 1).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	11,5	6,9
2	-1,7	-7,3
3	-1,2	-5,1
4	-1,0	-4,4
5	-0,9	-3,8
6	-0,7	-3,0
7	-0,6	-2,6
8	-0,6	-2,3
9	-0,4	-2,0
10	-0,4	-1,8
11	-0,4	-1,7
12	-0,3	-1,5
13	-0,3	-1,4

Tabela A1.2. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 67, para intervalo diário e coeficiente de aproveitamento médio (período 1).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	13,3	6,9
2	-0,8	-6,4
3	-0,6	-4,5
4	-0,5	-3,8
5	-0,4	-3,3
6	-0,3	-2,7
7	-0,3	-2,3
8	-0,3	-2,0
9	-0,2	-1,8
10	-0,2	-1,6
11	-0,2	-1,5
12	-0,1	-1,3
13	-0,2	-1,2

Tabela A1.3. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 68, para intervalo horário e coeficiente de aproveitamento estimado (período 1).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	8,5	8,3
2	-2,3	-2,3
3	-1,6	-1,6
4	-1,4	-1,4
5	-1,2	-1,2
6	-0,9	-0,9
7	-0,8	-0,8
8	-0,8	-0,8
9	-0,6	-0,6
10	-0,6	-0,6
11	-0,6	-0,6
12	-0,5	-0,5
13	-0,4	-0,4

Tabela A1.4. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 68, para intervalo horário e coeficiente de aproveitamento médio (período 1).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	15,6	14,0
2	2,5	2,5
3	1,7	1,7
4	1,5	1,5
5	1,2	1,2
6	1,1	1,1
7	0,9	0,9
8	0,7	0,7
9	0,7	0,7
10	0,6	0,6
11	0,5	0,5
12	0,5	0,5
13	0,5	0,5

Tabela A1.5. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 69a, para intervalo diário e coeficiente de aproveitamento estimado (período 2).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	7,0	7,0
2	9,8	4,8
3	6,2	3,0
4	4,9	2,4
5	3,9	1,9

Tabela A1.6. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 69a, para intervalo diário e coeficiente de aproveitamento médio (período 2).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	7,1	7,1
2	10,6	5,6
3	6,7	3,5
4	5,3	2,8
5	4,2	2,2

Tabela A1.7. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 69b, para intervalo horário e coeficiente de aproveitamento estimado (período 2).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	7,0	7,0
2	9,5	9,5
3	6,0	6,0
4	4,7	4,7
5	3,8	3,8

Tabela A1.8. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 69b, para intervalo horário e coeficiente de aproveitamento médio (período 2).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	7,2	7,2
2	11,2	11,2
3	7,1	7,1
4	5,6	5,6
5	4,5	4,5

Tabela A1.9. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 70a, para intervalo diário e coeficiente de aproveitamento estimado (período 3).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	9,5	4,3
2	4,0	1,8
3	2,6	1,1
4	1,9	0,8
5	-3,4	-1,3
6	-5,2	-4,5

Tabela A1.10. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 70a, para intervalo diário e coeficiente de aproveitamento médio (período 3).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	10,4	5,1
2	4,4	2,1
3	2,8	1,4
4	2,0	1,0
5	-2,2	-0,2
6	-4,1	-2,9

Tabela A1.11. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 70b, para intervalo horário e coeficiente de aproveitamento estimado (período 3).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	7,7	4,3
2	3,3	1,8
3	2,1	1,2
4	1,5	0,9
5	-3,2	-2,5
6	-5,2	-4,7

Tabela A1.12. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 70b, para intervalo horário e coeficiente de aproveitamento médio (período 3).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	9,5	6,1
2	4,0	2,6
3	2,6	1,6
4	1,9	1,2
5	-0,8	0,1
6	-2,9	-2,4

Tabela A1.13. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 71a, para intervalo diário e coeficiente de aproveitamento estimado (período 4).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	-5,0	-10,4
2	-8,4	-9,1
3	-5,4	-6,1
4	-10,0	-10,2
5	-10,2	-8,8

Tabela A1.14. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 71a, para intervalo diário e coeficiente de aproveitamento médio (período 4).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	-4,3	-10,3
2	-7,3	-7,2
3	-4,4	-4,4
4	-6,9	-6,0
5	-6,7	-3,9

Tabela A1.15. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 71b, para intervalo horário e coeficiente de aproveitamento estimado (período 4).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	-5,7	-5,6
2	-9,6	-9,6
3	-6,5	-6,6
4	-12,8	-12,8
5	-12,2	-12,1

Tabela A1.16. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 71b, para intervalo horário e coeficiente de aproveitamento médio (período 4).

Semana	Netuno	Netuno modificado
1	-4,4	-4,4
2	-7,1	-7,1
3	-4,3	-4,3
4	-7,5	-7,5
5	-5,6	-5,7

Apêndice 2. Diferenças entre os potenciais de economia estimados pelos algoritmos e as economias de água potável efetivas das figuras do item 4.3.

Tabela A2.1. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 75, considerando dados de precipitação de diferentes estações meteorológicas e intervalo de tempo diário - período 1.

Semana	Estação automática INMET		Estação convencional EPAGRI	
	Netuno	Netuno modificado	Netuno	Netuno modificado
1	27,5	18,0	22,2	9,2
2	13,4	8,8	9,5	2,1
3	9,3	6,1	6,8	1,7
4	8,2	5,4	6,7	2,4
5	6,9	4,5	4,9	1,2
6	5,7	3,7	-1,5	-4,0
7	4,9	3,2	-4,8	-8,0
8	4,1	2,7	-4,1	-6,8
9	3,8	2,5	-3,7	-6,2
10	3,4	2,3	-3,4	-5,6
11	3,1	2,0	-2,9	-5,0
12	2,8	1,9	-2,4	-4,2
13	2,6	1,7	-2,5	-4,2

Tabela A2.2. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 76, considerando dados de precipitação de diferentes estações meteorológicas e intervalo de tempo diário - período 2.

Semana	Estação automática INMET		Estação automática EPAGRI		Estação convencional EPAGRI	
	Netuno	Netuno modificado	Netuno	Netuno modificado	Netuno	Netuno modificado
1	8,4	8,4	8,0	8,0	8,5	8,5
2	9,6	4,6	9,8	4,9	14,0	8,0
3	6,1	2,9	6,2	3,0	9,9	6,2
4	4,8	2,3	4,9	2,4	7,2	4,4
5	3,8	1,8	3,9	1,9	6,6	4,4

Tabela A2.3. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 77a, considerando dados de precipitação de diferentes estações meteorológicas e intervalo de tempo diário - período 3.

Semana	Estação convencional INMET		Estação automática EPAGRI		Estação convencional EPAGRI	
	Netuno	Netuno modificado	Netuno	Netuno modificado	Netuno	Netuno modificado
1	18,8	14,0	14,4	9,1	44,5	29,8
2	9,2	7,5	6,0	3,8	19,0	13,5
3	5,6	4,5	3,9	2,5	11,5	8,1
4	4,3	3,5	2,8	1,8	7,6	6,1
5	1,9	2,9	-2,0	-0,1	-3,1	-2,3
6	-2,1	-1,0	-4,6	-3,9	-7,1	-7,3

Tabela A2.4. Diferenças entre os potenciais de economia estimados e as economias de água potável da Figura 77b, considerando dados de precipitação de diferentes estações meteorológicas e intervalo de tempo diário - período 4.

Semana	Estação convencional INMET		Estação automática EPAGRI		Estação convencional EPAGRI	
	Netuno	Netuno modificado	Netuno	Netuno modificado	Netuno	Netuno modificado
1	-10,4	-17,1	-2,9	-9,0	-11,1	-17,8
2	-12,5	-15,7	-11,7	-11,1	-21,3	-19,4
3	-11,3	-14,0	-8,3	-7,7	-23,5	-20,7
4	-11,8	-10,4	-10,9	-8,1	-17,9	-15,5
5	-10,9	-9,6	-11,7	-8,3	-20,1	-18,1