

Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos

**ESTUDO DA PRECIPITAÇÃO PARA ANÁLISE DA CAPTAÇÃO E
APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS EM
ITAJUBÁ – MG**

Simone Christiane Ramalho Sigoli

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Orientadora: Profa. Dra. Sâmia Regina Garcia Calheiros

Coorientadora: Profa. Dra. Herlane Costa Calheiros

Itajubá/MG

Maio/2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: **Simone Christiane Ramalho Sigoli**

Título: **Estudo da precipitação para análise da captação e aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em Itajubá – MG**

Dissertação de Mestrado apresentado em.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Sâmia Regina Garcia Calheiros (orientadora)
Unifei – Universidade Federal de Itajubá
Presidente

Profa. Dra. Herlane Costa Calheiros (coorientadora)
Unifei – Universidade Federal de Itajubá
Membro

Prof. Dr. Roger Rodrigues Torres
Unifei – Universidade Federal de Itajubá
Membro

Prof. Dr. Leopoldo Uberto Ribeiro Junior
FEPI – Centro Universitário de Itajubá
Membro

() Aprovada () Aprovada com Restrição () Reprovada

Agradecimentos

Gostaria de exprimir a minha gratidão a minha orientadora Professora Dra. Sâmia Regina Garcia Calheiros pela orientação prestada, pela sua disponibilidade e apoio que sempre demonstrou.

Igualmente a minha coorientadora Professora Herlane Costa Calheiros pelo seu apoio na elaboração deste trabalho.

À CAPES, pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de estudo.

A todos o meu sincero **Muito Obrigada!**

Resumo

Diante da crescente demanda e os recorrentes problemas de escassez da água vividos no Brasil nos últimos anos, a conscientização e a substituição do consumo de água potável por fontes alternativas de abastecimento tem se destacado. Assim, esse trabalho apresenta um estudo das características de precipitação da cidade de Itajubá utilizando dados observados e modelados dessa variável, que serviram como base para análise de viabilidade para implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em residências. Inicialmente, simulações testes foram feitas com diferentes séries de precipitação de quatro fontes distintas: *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC), *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP), Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Agência Nacional de Águas (ANA), e, através delas, constatou-se que a série da ANA apresentou melhor desempenho, além do fato de a mesma ser uma série mais longa e com menos falhas. Assim, essa série foi utilizada para as simulações com os diferentes cenários variando-se o número de moradores, a área de captação e o tipo de cobertura no *software* Netuno. Foi encontrado que a área de captação é a variável mais importante no que se refere ao maior potencial de economia quando comparado ao volume do reservatório. Para áreas de captação maiores, independente do volume do reservatório, tem-se o maior aproveitamento das águas de chuva, indicando que essa variável tem maior influência na capacidade de aproveitamento de água de chuva. Logo, através de simulações utilizando o *software* Netuno foi possível demonstrar os potenciais de economia de água potável para cada volume de reservatório de água pluvial em diversos cenários, incluindo o telhado verde que é uma ótima ferramenta na busca de novas tecnologias a favor da redução do impacto ambiental, social e econômico na construção civil, embora no quesito de aproveitamento de água este seja inferior ao telhado convencional. Portanto, os resultados obtidos neste trabalho podem ter implicações importantes em estudos de aproveitamento de água pluvial em residências na cidade de Itajubá e, até mesmo, em cidades com similar regime de precipitação.

Palavras-chave: sustentabilidade, água pluvial, aproveitamento, telhado verde,

Abstract

Faced with the growing demand and the recurrent problems of water scarcity experienced in Brazil in recent years, awareness and substitution of potable water consumption by alternative sources of supply has been highlighted. Thus, this work presents a study of precipitation characteristics of the city of Itajubá using observed and modeled data of this variable, which served as a basis for feasibility analysis for the implantation of rainwater harvesting systems in residences. Initially, simulations were performed with different precipitation series from four different sources: Global Precipitation Climatology Center (GPCC), Global Precipitation Climatology Project (GPCP), Data Collection Platform (PCD) of the National Institute for Space Research (INPE) and National Water Agency (ANA), and, through them, it was verified that the ANA series presented better performance, besides the fact that it is a longer series and with fewer faults. Thus, this series was used for the simulations with the different scenarios varying the number of inhabitants, the catchment area and the type of coverage in the Neptune software. It was found that the catchment area is the most important variable in relation to the greater potential of economy when compared to the volume of the reservoir. For larger catchment areas, regardless of the volume of the cistern, the greatest use is made of rainwater, indicating that this variable has a greater influence on the capacity of rainwater harvesting. Therefore, through simulations using the Neptune software, it was possible to demonstrate the potentials of saving potable water for each volume of rainwater reservoir in several scenarios, including the green roof that is a great tool in the search for new technologies in favor of the reduction of environmental, social and economic impact in construction, although in the area of water use this is inferior to the conventional roof. Therefore, the results obtained in this work may have important implications in studies of rainwater utilization in residences in the city of Itajubá and, even, in cities with similar precipitation regime.

Keywords: sustainability, rainwater use, water reuse, cistern sizing, green-roof.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos.....	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1	Sistema de Monção da América do Sul	4
2.2	Crise Hídrica	6
2.3	Captação e Aproveitamento de Água Pluvial	8
2.3.1	Cobertura ou Superfícies de Captação.....	9
2.3.2	Calhas, condutores verticais e horizontais	14
2.3.3	Telas ou filtros	14
2.3.4	Reservatório ou Cisterna.....	17
2.3.5	Bomba.....	17
2.4	Programa Computacional Netuno	18
2.4.1	Validação do Software Netuno	21
2.5	Aspectos Legais sobre o uso das águas pluviais	21
2.5.1	Nacional.....	23
2.5.2	Estadual.....	26
2.5.3	Municipal	27
3	DADOS E METODOLOGIA.....	29
3.1	Dados.....	29
3.1.1	Dados de precipitação	29
3.1.2	Dados utilizados no Software Netuno.....	31
3.2	Metodologia	40
3.2.1	Análise dos diferentes dados de precipitação	40
3.2.2	Caracterização das variáveis para obtenção do volume ideal do reservatório e estimativa do potencial de economia de água potável.....	41
4	RESULTADOS.....	44
4.1	Comparação entre os dados de precipitação.....	44
4.1.1	Análise do ciclo anual de precipitação.....	46
4.1.2	Análise das anomalias.....	48
4.1.3	Resumo da comparação	51
4.2	Comparação e simulação teste com as séries do GPCP, PCD e ANA	53
4.3	Simulações dos cenários	66
4.4	Resumo do resultado das simulações dos cenários	81
4.5	Comparações das simulações.....	84
4.5.1	Telhado convencional	84
4.5.2	Telhado Verde.....	87
4.6	Anos Hidrológicos Extremos	90
4.7	Análise econômica.....	93
5	CONCLUSÕES	95

5.1	Sugestões para trabalhos futuros.	96
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

Lista de Abreviaturas

ABRH:	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ANA:	Agência Nacional de Águas
ARSAE-MG:	Agencia Reguladora de Serviços de Abastecimento de Agua e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais
ASA:	Articulação do Semiárido
CPTEC:	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CSV:	Valores Separados por Vírgulas
GPCC:	<i>Global Precipitation Climatology Centre</i>
GPCP:	<i>Global Precipitation Climatology Project</i>
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE:	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
PIMC:	Programa Um Milhão de Cisternas
PCD:	Plataforma de Coleta de Dados
PNRH:	Política Nacional de Recursos Hídricos
SDS:	Secretaria de Desenvolvimento Sustentável
SMAS:	Sistema de Monção na América do Sul
SINAPI:	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SNIS:	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico
ZCAS:	Zona de Convergência do Atlântico Sul

Lista de Símbolos

d:	Demanda de água per capita/dia
D_{apluv}:	Demanda de água pluvial
D_t:	Demanda de água pluvial
M_t:	Suprimento da rede de abastecimento
n_{mor}:	Número de moradores da edificação
O_t:	Volume extravasado do reservatório
P_{subst}:	Percentual da demanda total de água que pode ser suprida por água pluvial
P_t:	Precipitação pluviométrica
Q_t:	Volume de chuva escoado
V_{ap}:	Volume aproveitável de água pluvial
V_c:	Volume de água pluvial consumido
V_t:	Volume do reservatório
V_R:	Volume de água pluvial armazenado no reservatório
V_{RA}:	Volume de água pluvial armazenado no reservatório no intervalo de tempo imediatamente anterior
$V_{res\ sup}$:	Volume do reservatório superior, definido pelo Netuno
V_T:	Volume útil do reservatório
Y_t:	Volume consumido ou retirado do reservatório

Lista de Figuras

Figura 1: Climatologia do vento em 900 hPa para (a) Média Anual, (b) Janeiro menos a Média Anual, e (c) Julho menos a Média Anual.	5
Figura 2: Localização da área correspondente à região Sul de Minas Gerais utilizada nas Figuras 3 e 4.	6
Figura 3: Boxplot de precipitação mensal (1981-2010), curva em preto, e para os anos de 2014(a), 2015 (b) e 2016 (c) curvas em vermelho. Na região indicada na Figura 2.	7
Figura 4: Representação esquemática do sistema de captação.	8
Figura 5: Captação e aproveitamento de águas pluviais em uma residência.	8
Figura 6: Posicionamento dos Reservatórios Superior e Inferior.	9
Figura 7: Telhado verde	10
Figura 8: Componentes de um telhado verde. 1) Pavimento do telhado, isolamento e impermeabilização. 2) Proteção e camada de armazenamento. 3) Camada de Drenagem. 4) Camada anti-raízes, filtro permeável. 5) Camada de substrato, 6) Vegetação.....	12
Figura 9: Plantas e restauração dos ecossistemas naturais.	14
Figura 10: Filtro autolimpante.....	15
Figura 11: Funcionamento do sistema de descarte de escoamento inicial.....	16
Figura 12: Descarte inicial, desviadores de água	16
Figura 13: Detalhe da Bomba.....	17
Figura 14: Princípio de transferência de massa.....	18
Figura 15: Configuração básica de um sistema de aproveitamento de água pluvial.....	18
Figura 16: Algoritmo do programa Netuno para obtenção do volume de água pluvial armazenado no reservatório.....	20
Figura 17: Algoritmo do programa Netuno para obtenção do volume de água pluvial consumido.....	20
Figura 18: Janela principal do software Netuno.....	31
Figura 19: Interface para demanda de água variável.....	33
Figura 20: Distribuição da quantidade de moradores, nos domicílios particulares permanentes em Itajubá.	36
Figura 21: Total mensal de precipitação (mm) do GPCC do ponto de grade próximo à cidade de Itajubá no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010.....	44

Figura 22: Total anual de precipitação (mm) do GPCC do ponto de grade próximo à cidade de Itajubá de 1979 a 2010.	45
Figura 23: Total mensal de precipitação (mm) nos dois pontos de grade próximos à cidade de Itajubá (23,75°S em azul e 21,25°S em laranja) no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014 dos dados do GPCP.	45
Figura 24: Acumulado anual de precipitação (mm) nos dois pontos de grade próximos à cidade de Itajubá (23,75°S em azul e 21,25°S em laranja) no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014 dos dados do GPCP.	46
Figura 25: Ciclo anual climatológico de precipitação (mm) do período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010 em mm para a cidade de Itajubá dos dados do GPCC.	47
Figura 26: Ciclo anual médio de precipitação (mm) do período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014 nos dois pontos de grade próximos à cidade de Itajubá (23,75°S em azul e 21,25°S em verde) dos dados do GPCP. A média entre as duas séries está em vermelho.	47
Figura 27: Anomalias mensais de precipitação (mm) dos dados do GPCC no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010.	48
Figura 28: Anomalias mensais (mm) ordenadas dos dados de precipitação do GPCC no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010.	49
Figura 29: Anomalias mensais de precipitação (mm) do ponto de 23,75°S do GPCP no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014.	49
Figura 30: Anomalias mensais de precipitação em mm, do ponto de 21,25°S do GPCP no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014.	50
Figura 31: Média das anomalias mensais de precipitação (mm) do GPCP dos dois pontos de grade no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014.	50
Figura 32: Anomalias ordenadas (mm) dos dados de precipitação do GPCP no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014.	51
Figura 33: Comparação do ciclo anual de precipitação (mm) entre GPCC e GPCP. ...	52
Figura 34: Dados de precipitação do GPCP, da PCD e da ANA para o ano de 2003...	53
Figura 35: Climatologia mensal dos dados do GPCP, da PCD e da ANA, para o período de disponibilidade de cada fonte.	54
Figura 36: Potencial de Economia em função do tamanho do reservatório para o ano de 2003: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.	57

Figura 37: Consumo de água pluvial (litros/dia) em função do Volume do reservatório inferior (litros) para o ano de 2003: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.....	58
Figura 38: Percentual do atendimento de água pluvial em função do Volume do reservatório inferior (litros) para o ano de 2003: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.	59
Figura 39: Volume extravasado (litros/dia) em função do Volume do reservatório inferior (litros) para o ano de 2003. a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.	60
Figura 40: Potencial de Economia em função do tamanho do reservatório para: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.	62
Figura 41: Consumo de água pluvial (litros/dia) em função do Volume do reservatório inferior (litros) para: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.	63
Figura 42: Percentual do atendimento de água pluvial em função do Volume do reservatório inferior (litros) para: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.	64
Figura 43: Volume extravasado (litros/dia) em função do Volume do reservatório inferior (litros) para: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.	65
Figura 44: Cenário 1 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)	67
Figura 45: Cenário 2 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)	69
Figura 46: Cenário 3 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)	71
Figura 47: Cenário 4 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)	73
Figura 48: Cenário 5 - Volume do reservatório inferior (litros) em função do: a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia).	75

Figura 49: Cenário 6 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)	77
Figura 50: Cenário 7 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)	79
Figura 51: Cenário 8 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)	80
Figura 52: Potencial de economia de água potável em função do Volume do reservatório inferior (litros), para os oito cenários utilizados neste trabalho	84
Figura 53: Potencial de economia de água potável em função do Volume do reservatório inferior (litros), para uma residência com (a) 100m ² e com (b) 150m ² de cobertura e um potencial de substituição de água potável de 50%. Telhado Convencional	85
Figura 54: Potencial de economia de água potável em função do Volume do reservatório inferior (litros), para uma residência com (a) 2 e com (b) 4 moradores e um potencial de substituição de água potável de 50%. Telhado Convencional.....	86
Figura 55: Potencial de economia de água potável em função do Volume do reservatório inferior (litros), para uma residência com (a) 100m ² e com (b) 150m ² de cobertura e um potencial de substituição de água potável de 50%. Telhado verde.	88
Figura 56: Potencial de economia de água potável em função do Volume do reservatório inferior (litros), para uma residência com (a) 2 e com (b) 4 moradores e um potencial de substituição de água potável de 50%. Telhado verde.....	89
Figura 57: Extremo Maior - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros).....	91
Figura 58: Extremo Menor - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros).....	92
Figura 59: Módulo de análise econômica do programa computacional Netuno para uma residência típica de Itajubá	94

1 INTRODUÇÃO

Devido à crescente demanda e aos recorrentes problemas de escassez da água vividos no Brasil nos últimos anos, um dos desafios atuais do país é a gestão dos recursos hídricos existentes, privilegiando o adequado uso da água potável. Apesar da água doce ser encontrada em abundância no planeta, em algumas partes do mundo os recursos hídricos podem se tornar escassos, e em função do aumento acelerado da demanda, o suprimento dessa água poderá ser um grande problema. Segundo May (2003), a redução deste recurso em diversas regiões brasileiras tem sido provocada pelo desequilíbrio entre as distribuições demográficas, industrial e agrícola e a distribuição de água.

Nesse contexto, tem-se que a região Sudeste do Brasil, principalmente o Estado de São Paulo, experimentou em 2014 e início de 2015 um déficit expressivo de precipitação (COELHO *et al.*, 2015), causando um grande impacto na disponibilidade da água para consumo público, na geração de energia elétrica e na agricultura. O Sistema Cantareira, por exemplo, que é destinado à captação e tratamento de água para a grande São Paulo, sendo um dos maiores do mundo, estava em janeiro de 2015 com o nível de 5% da sua capacidade de armazenamento. Esta situação levou o governo local a instalar um sistema de bombeamento capaz de extrair águas dos níveis de reservatórios profundos para atenuar o déficit para o consumo humano (PORTO *et al.*, 2014).

Tendo em conta os impactos gerados por esse grande evento de seca, Coelho *et al.* (2015) realizaram um diagnóstico das condições de precipitação observada ao longo de uma determinada área na região Sudeste do Brasil, incluindo a cidade de Itajubá. Vale ressaltar que a estação chuvosa dessa região é influenciada pelo sistema de monção da América do Sul (SMAS), ou seja, o ciclo anual da precipitação é bem definido, com verão chuvoso e inverno seco (ZHOU e LAU, 1998; VERA *et al.*, 2006), sendo a média histórica de precipitação para as estações de verão e inverno 236,9 mm e 55,6 mm, respectivamente. Assim, segundo Coelho *et al.* (2015) durante os meses de dezembro de 2013 e janeiro, fevereiro e março de 2014, a precipitação observada foi de 131,3 mm, 127,7 mm, 75,7 mm, e 104,3mm respectivamente, enquanto que o valor esperado para estes meses de acordo com a série climatológica é de 226,8 mm, 264,7mm, 219,3 mm, e 211,1 mm, respectivamente. Isso representa um déficit negativo de precipitação de 95,5 mm, 137,0 mm, 143,6 mm, e 106,8 mm para os meses de dezembro de 2013 e janeiro, fevereiro e março de 2014, respectivamente.

Portanto, a gestão dos recursos hídricos existentes e o aproveitamento de água de chuva integram algumas das práticas atuais de se preservar a água potável, administrando o uso racional dos estoques de água, forçando a busca por novas tecnologias e privilegiando o adequado uso da água nobre. Diante do fato apresentado, a Agenda 21¹ menciona, como um instrumento de política:

“O gerenciamento do uso da água e a procura por novas alternativas de abastecimento como o aproveitamento das águas pluviais, a dessalinização da água do mar, a reposição das águas subterrâneas e o reuso da água estão inseridos no contexto do desenvolvimento sustentável, o qual propõe o uso dos recursos naturais de maneira equilibrada e sem prejuízos para as futuras gerações” (BRASIL, 2002).

O sistema de utilização da água pluvial pode ser adotado para fins residenciais, comerciais, industriais e na agricultura. No caso do uso residencial, os mais comuns são nas descargas de vasos sanitários, lavagens de veículos, irrigação de jardins e sistema de combate a incêndio. Nas indústrias, a água de chuva pode ser utilizada para resfriamento, limpeza industrial, lavagem de veículos e, na agricultura, seu uso é na irrigação.

Rocha (2009) validou o algoritmo do programa computacional Netuno, que é um *software* criado para avaliar o potencial de economia de água potável e o dimensionamento de reservatórios para aproveitamento em edificações e será utilizado neste trabalho. Portanto, ressalta-se a importância da redução de consumo de água potável, sendo o aproveitamento da água pluvial uma importante prática na busca da sustentabilidade hídrica e podendo ainda gerar economia ao consumidor.

¹A **Agenda 21** é definida como um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica.

1.1 Objetivos

Assim, este estudo tem como objetivo geral estudar a precipitação na cidade de Itajubá – MG para analisar o potencial de um sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais como forma de substituição parcial da água potável.

Para isso, têm-se como objetivos específicos:

- a) Conhecer os diferentes dados de precipitação disponíveis na região, comparando-os entre si;
- b) Selecionar os diferentes dados de precipitação para analisar as simulações (chamadas de testes) com o objetivo de selecionar um destes dados para a utilização no estudo de captação;
- c) Caracterizar as variáveis a serem utilizadas no *software* Netuno para se obter o volume ideal do reservatório utilizado na edificação para a região escolhida;
- d) Demonstrar o potencial de economia de água potável obtido através do sistema de captação e aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis na cidade, através do *software* Netuno;
- e) Discutir os possíveis impactos da utilização de telhado verde em sistema de aproveitamento de águas pluviais em Itajubá - MG.

Logo, espera-se com este trabalho que o uso da água pluvial seja incentivado, de modo que se intensifique a conservação da água tratada, sendo uma alternativa para evitar sua futura escassez.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema de Monção da América do Sul

O Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) é o principal sistema meteorológico dos regimes de precipitação de verão em sua região tropical (ZHOU e LAU 1998; VERA *et al.* 2006; MARENGO *et al.* 2010; GARCIA e KAYANO, 2009, 2011, 2013, 2015; SANTOS e GARCIA, 2016; GARCIA *et al.*, 2016a; GARCIA *et al.*, 2016b). O SMAS é caracterizado por um ciclo anual bem definido da precipitação, sendo o verão chuvoso e o inverno mais seco. As monções ocorrem em regiões onde há reversões sazonais na direção do vento, em função do aquecimento diferencial entre continentes e oceanos, sendo a monção da Índia referenciada como um sistema monçônico clássico (RAMAGE, 1971).

Segundo Zhou e Lau (1998), outros aspectos também são analisados na definição de monção, como por exemplo, a evolução sazonal de algumas características da circulação atmosférica e do ciclo sazonal de precipitação. Quando ocorre o aquecimento diferencial entre o oceano e o continente, dada a diferente capacidade destes em armazenar calor, forma-se assim a circulação de monção. Quando o ar úmido do oceano encontra o ar quente do continente, ele ascende. Enquanto ascende, o ar se resfria e condensa gerando nuvens e dando início às chuvas. Em altas altitudes, o ar diverge e descende sobre o oceano em uma superfície fria em relação ao continente, deste modo ocorre a circulação monçônica. Assim, essa característica mostra o ciclo anual de precipitação tão bem definido na região monçônica, com verão quente e chuvoso e inverno frio e seco.

Entretanto, na América do Sul, diferentemente dos outros sistemas monçônicos clássicos não ocorre a reversão sazonal dos ventos. Zhou e Lau (1998) demonstraram que embora a circulação atmosférica de baixos níveis seja predominantemente de leste durante todo o ano sobre o Atlântico Tropical e sobre o norte da América do Sul, quando a média anual é removida da composição de verão e na de inverno, a inversão na circulação de baixos níveis fica evidente nas anomalias mensais, como pode ser visto na Figura 1. Esta reversão sazonal da anomalia do vento de verão e inverno é uma das principais evidências da presença de um sistema monçônico na América do Sul, o SMAS.

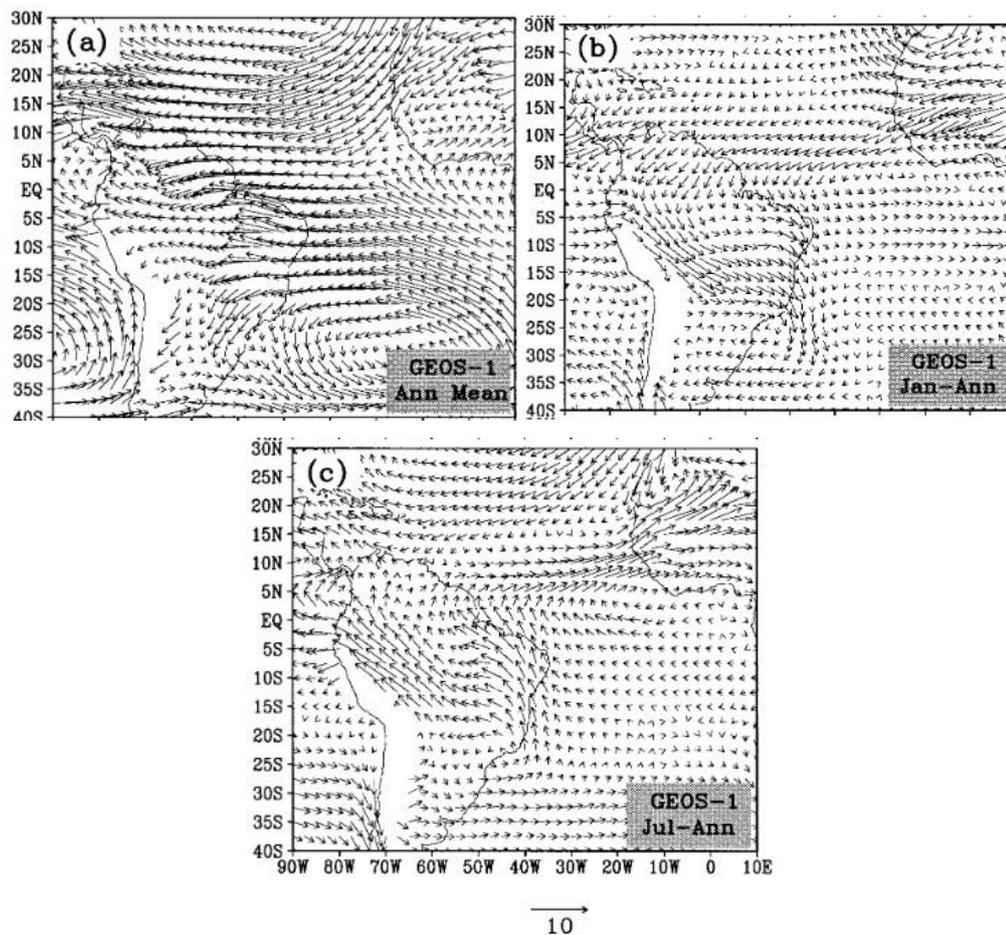


Figura 1: Climatologia do vento em 900 hPa para (a) Média Anual, (b) Janeiro menos a Média Anual, e (c) Julho menos a Média Anual.

Fonte: Zhou e Lau (1998).

Alguns trabalhos têm estudado o ciclo de vida da precipitação associada ao SMAS (KOUSKY, 1988; HOREL *et al.*, 1989; RAO *et al.*, 1996; MARENGO *et al.*, 2001; GAN *et al.*, 2004; VERA *et al.*, 2006; GARCIA e KAYANO 2009; 2011; 2013; 2015; SANTOS e GARCIA, 2016; GARCIA *et al.*, 2016a; GARCIA *et al.*, 2016b), o qual inclui uma fase úmida que se inicia na Amazônia equatorial durante a primavera austral e se propaga rapidamente para leste e sudeste, onde situa-se a região do estado de Minas Gerais e que está sob sua influência. No verão, época de maior quantidade de precipitação sobre o Brasil central, tem-se que a principal atividade convectiva está relacionada à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS; KODAMA, 1992; 1993), que é favorecida pelo transporte de umidade do oceano Atlântico, fazendo com que os valores de precipitação sejam altos sobre o Brasil Central. A fase de dissipação do SMAS inicia-se no outono, quando a precipitação intensa sobre a Amazônia diminui e migra gradualmente para noroeste. Portanto, em virtude de sua localização (região Sudeste, no sul de Minas

Gerais), a cidade de Itajubá possui essa característica de ciclo anual de precipitação, com inverno mais frio e seco e verão mais quente e chuvoso, sendo integrante do SMAS.

Em um estudo feito para a região de Minas Gerais, Santos e Garcia (2016) determinaram as datas de início e fim da estação chuvosa para o estado através de duas metodologias diferentes: uma utilizando precipitação (LIEBMANN *et al.*, 2007) e outra utilizando Radiação de Onda Longa (GARCIA e KAYANO, 2009; 2013; GARCIA *et al.*, 2016a). Eles encontraram, em média, que o início da estação chuvosa ocorre em meados de outubro, enquanto que o fim da estação chuvosa ocorre em meados de abril.

2.2 Crise Hídrica

A crescente preocupação com a crise hídrica e o déficit expressivo de precipitação que o Estado de São Paulo experimentou em 2014 e início de 2015, reflete-se também na região Sul de Minas Gerais, que pode ser confirmado utilizando um produto do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) na área indicada na Figura 2, região 108, referente à localização de uma área de coordenadas 20° a 22,5° S e 45° a 47,5° O que abrange a cidade de Itajubá (22° 25'33" S, 45° 27'10" O).

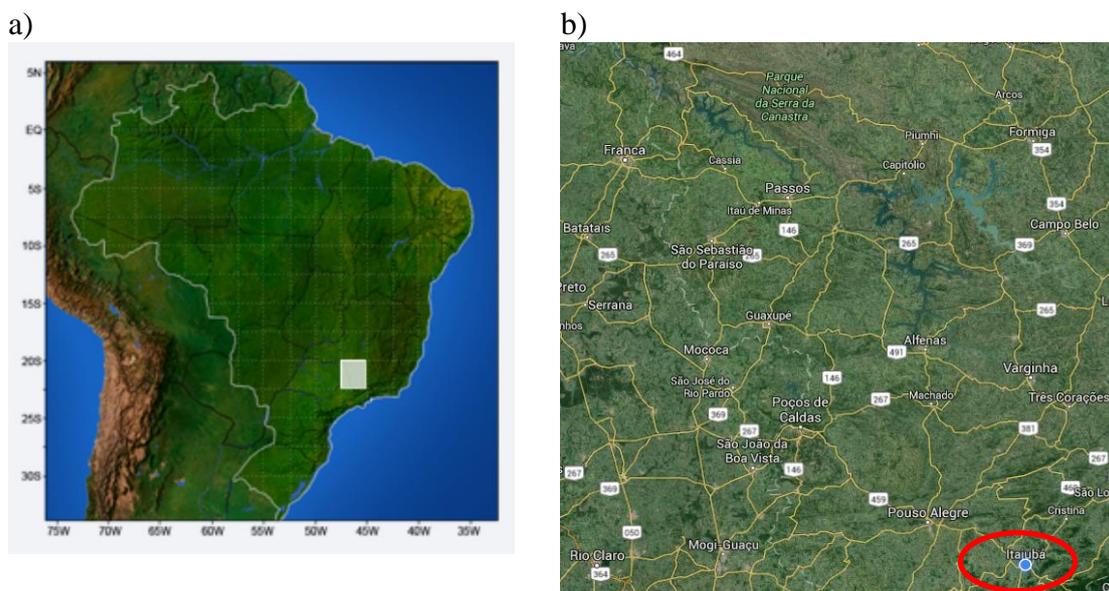


Figura 2: Localização da área correspondente à região Sul de Minas Gerais utilizada nas Figuras 3 e 4.

Fonte: a) CPTEC / INPE (2015) e b) Google Maps (2015)

Na Figura 3a, a curva em preto representa a climatologia mensal da chuva para os anos de 1981 a 2010, e a curva em vermelho representa a chuva mensal observada no ano de 2014, mostrando que esse foi um ano com verão atípico, com valores de precipitação bem abaixo da climatologia do período.

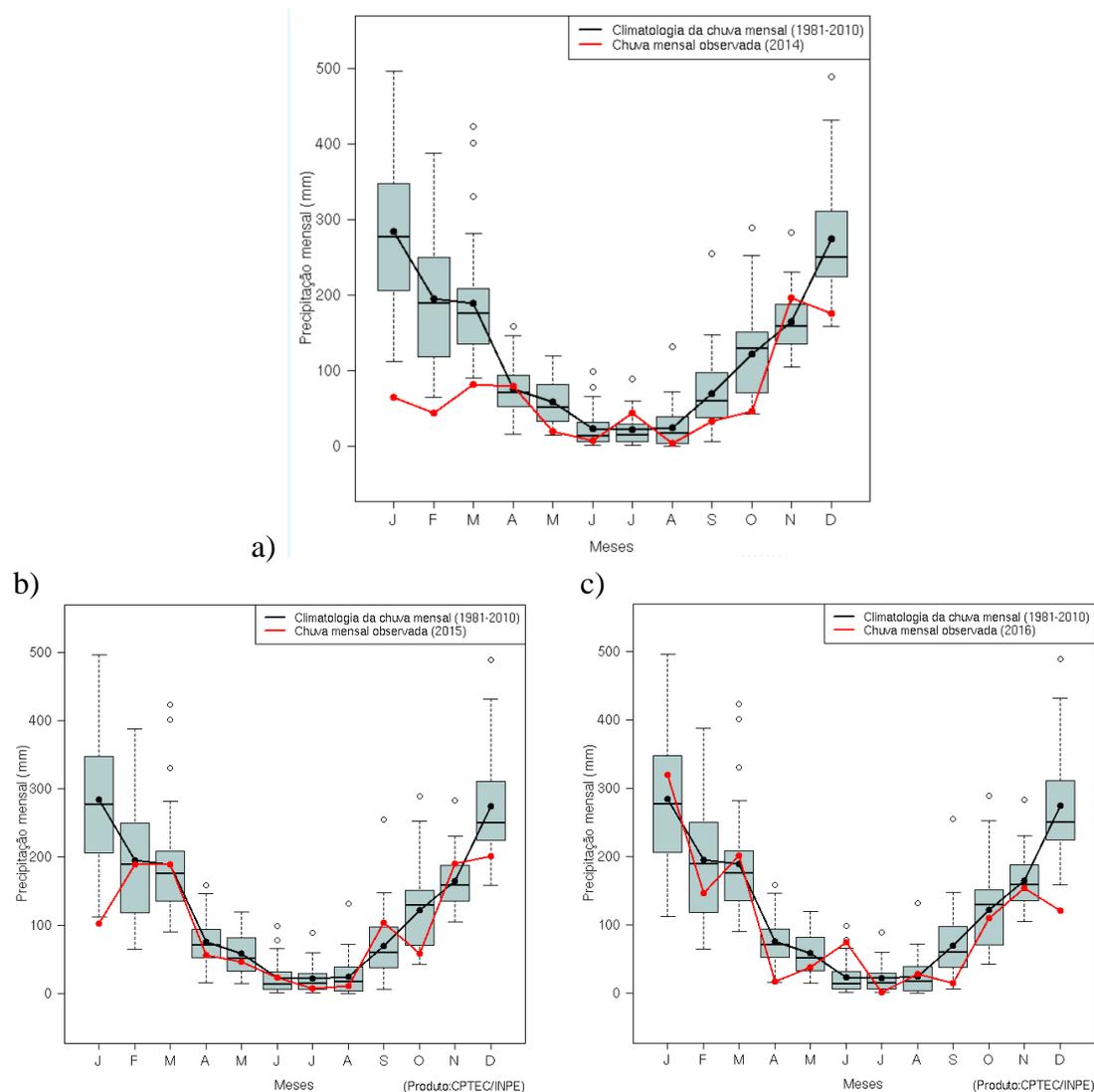


Figura 3: Boxplot de precipitação mensal (1981-2010), curva em preto, e para os anos de 2014(a), 2015 (b) e 2016 (c) curvas em vermelho. Na região indicada na Figura 2.

Fonte: CPTEC / INPE (2015)

O mesmo ocorre para o início de 2015 conforme mostrado na Figura 3b. A curva em preto representa a climatologia mensal da chuva para os anos de 1981 a 2010, e a curva em vermelho representa a chuva mensal observada no ano de 2015, mostrando que o mês de janeiro apresentou valores de precipitação abaixo da climatologia do período. Como pode ser visto ainda nessa figura, em fevereiro e março a precipitação já atingiu o valor climatológico para esses meses. No que se refere ao ano de 2016, tem-se que o mesmo apresentou algumas variações dos valores de precipitação comparados à

climatologia, mas déficits acentuados de precipitação não foram observados como nos anos anteriores, apenas dezembro que ficou bem abaixo da média histórica (Figura 3c).

2.3 Captação e Aproveitamento de Água Pluvial

Segundo May (2003), o sistema de aproveitamento de água pluvial é uma medida de conservação da água, e sua viabilidade caracteriza-se pela diminuição da demanda de água tratada, pela conservação dos recursos hídricos, pela redução dos riscos de enchentes e do assoreamento de rios, entre outros.

Os principais componentes do sistema de aproveitamento de água pluvial são: cobertura; calhas, condutores verticais e horizontais; telas ou filtros; reservatório ou cisterna e bomba, conforme ilustrado nos esquemas das Figura 4 e Figura 5.

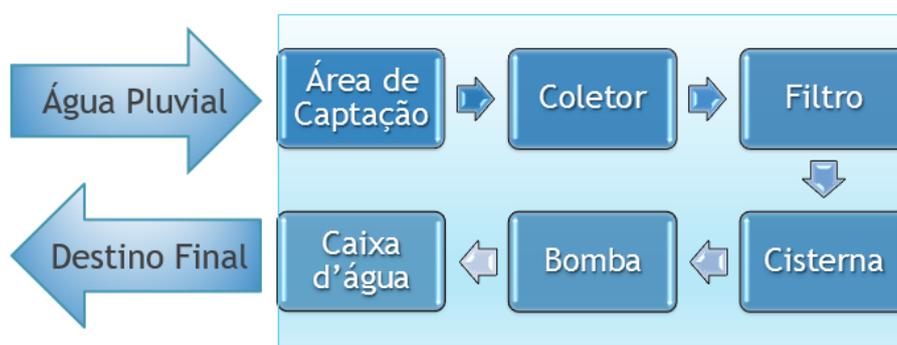


Figura 4: Representação esquemática do sistema de captação.

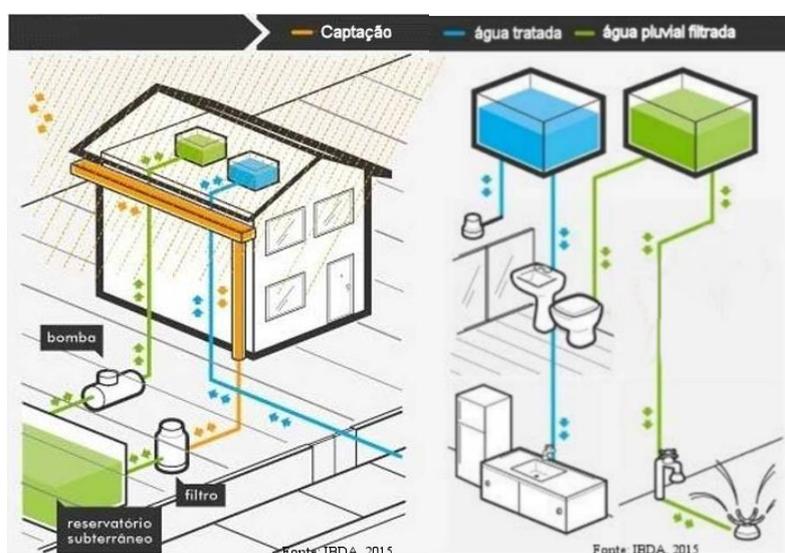


Figura 5: Captação e aproveitamento de águas pluviais em uma residência.
Fonte: IBDA (2015)

A água de chuva captada no telhado é conduzida pela calha até os tubos de queda, posteriormente passam por um filtro e é dirigida até a cisterna (reservatório inferior, Figura 6) onde ficará armazenada para, em seguida, ser bombeada e armazenada no reservatório de consumo (reservatório superior, Figura 6), sendo utilizada por gravidade para vasos sanitários e torneiras externas devidamente identificadas, para uso em jardim e garagem.

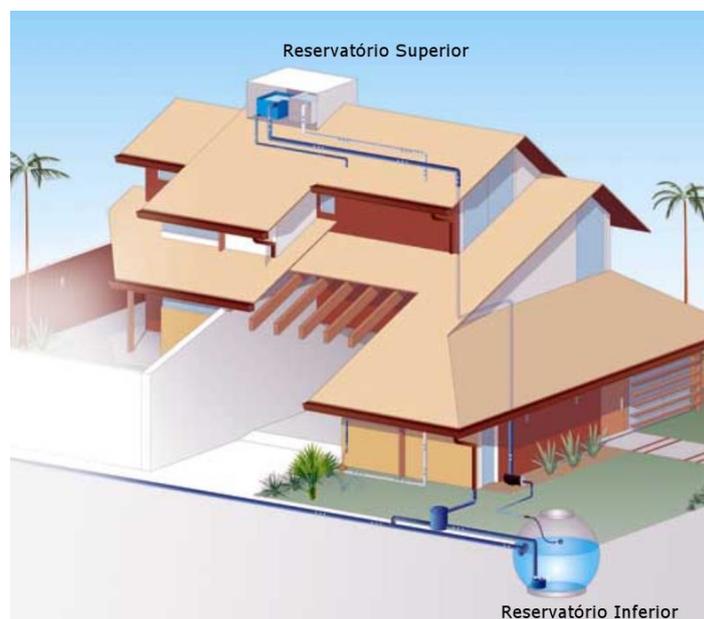


Figura 6: Posicionamento dos Reservatórios Superior e Inferior.
Fonte: Aquasave (2008)

É importante prever uma entrada de água da rede pública na cisterna de água de chuva ou diretamente no reservatório superior para que, em épocas de estiagem, não se tenha falta de água nesse sistema, tomando os devidos cuidados para não permitir que ocorra mistura das redes de água tratada e de chuva. Nas próximas seções será detalhado cada um dos componentes desse sistema.

2.3.1 Cobertura ou Superfícies de Captação

No sistema convencional a cobertura ou superfície de captação são telhados, lajes da edificação ou superfícies impermeáveis no solo que recebem a precipitação e geram o escoamento superficial.

O sistema de captação e aproveitamento de águas pluviais utilizando-se o telhado verde, também chamado de “*Green Roof*” ou “*Gründächer*”, ainda é mais aplicado nos países de língua germânica da Europa Central e tem se difundido pelo norte, noroeste da Europa e norte da América. No Brasil é mais conhecido nos estados da região Sul do país (WILLES, 2014). Telhados verdes são estruturas que se caracterizam pela aplicação de cobertura vegetal sobre as edificações, conforme ilustrado na Figura 7, e devem receber tratamento adequado quanto a sua impermeabilização, raízes, drenagem e demais medidas que se tornem necessárias conforme a inclinação da cobertura, favorecendo desta maneira sua eficácia.



Figura 7: Telhado verde
Fonte: Knopik (2014)

Os telhados verdes podem ser classificados sobre dois enfoques, o intensivo e o extensivo, de acordo com o tipo de vegetação, necessidade de manutenção e complexidade do sistema (KIBERT, 2008). O intensivo necessita de mais substrato², é mais profundo e pode acomodar plantas maiores, tais como árvores e arbustos, e normalmente são utilizados em locais já projetados. O extensivo consiste de um substrato leve e de uma vegetação apropriada, plantada sobre uma base impermeável e podem também conter camadas adicionais, tais como um sistema de drenagem e irrigação e uma barreira anti-raízes.

De acordo com Willes (2014), a utilização de plantas em telhados é um dos mais recentes campos de pesquisa ambiental e busca encontrar uma solução ecológica e sustentável, para melhorar a qualidade de vida urbana e rural. Ambientalmente, o uso do

² Base para o cultivo que pode ser composto orgânico ou terra natural.

telhado verde pode trazer muitas contribuições. Dentre elas, as principais vantagens são: colaborar para a melhoria da qualidade do ar; reduzir os efeitos de ilha-de-calor³ nos centros urbanos e minimizar as vazões dos rios que recebem as águas das redes de coleta pluvial das cidades quando ocorrem picos de chuva.

Segundo Neiva e Pozo (2005) este tipo de cobertura apresenta ainda outras grandes vantagens, tanto do ponto de vista do conforto devido à umidade e temperatura do ar, bem como a retenção do pó e de substâncias contaminantes na capa vegetal, uma proteção eficaz contra a radiação solar, aumento da capacidade de esfriamento por evaporação e ainda considerável melhora do isolamento e da estabilidade térmica interior e efeitos derivados da absorção de ruídos.

A utilização de cobertura verde nas cidades é um possível potencial a ser explorado. Nota-se sua crescente utilização, a qual pode vir a ser uma tendência mundial no controle ao efeito estufa. Segundo Willes (2014), a água da chuva excedente, ou seja, que não fica retida nas camadas do telhado verde, apresenta redução dos agentes poluidores, pela ação da vegetação, substrato e demais camadas que funcionam como filtros. Esta água pode ser despejada diretamente no sistema de captação e aproveitamento de água pluvial.

Ferreira e Moruzzi (2007) comprovam em seus estudos que o telhado verde pode ser conjugado no sistema de captação. Porém, alguns fatores que podem influenciar significativamente a qualidade da água pluvial captada devem ser levados em consideração, tais como: composição do substrato, vazão do escoamento, tipos de vegetação e tempo de estabelecimento da vegetação. Alguns fatores que influenciam na quantidade da água captada são: área de captação, profundidade do substrato, a capacidade de evapotranspiração da vegetação, o intervalo e quantidade de chuvas.

O plantio em telhados é mais comum nos telhados planos. No entanto, também é possível explorar esta técnica em telhados inclinados, desde que algumas medidas adequadas sejam tomadas para garantir que a vegetação não escorregue junto com o substrato.

Para Minke (2004) é possível classificar os telhados verdes e suas inclinações. Para telhados de até 3° ou 5% de inclinação são considerados telhados planos, ou seja, um telhado que com as peças com 3 graus de inclinação possui uma elevação de 5

³Ilhas de calor é o nome que se dá a um fenômeno climático que ocorre principalmente nas cidades com elevado grau de urbanização. Nestas cidades, a temperatura média costuma ser mais elevada do que nas regiões rurais próximas.

centímetros a cada metro. Telhados que possuem de 3° a 20° ou 5% a 35% de inclinação são telhados de encosta suave. Os que possuem de 20° a 40° ou 36% a 84% são chamados de telhados com declive. Acima de 40° ou acima de 84% são chamados de telhado íngreme, por exemplo, telhado estilo chalé. Minke complementa que para telhados de encosta suave geralmente dispensa-se a colocação de segurança contra deslizamento do substrato e para as demais inclinações ele sugere diferentes dispositivos para diferentes inclinações.

As componentes de um telhado verde são definidas por Cantor (2008). O autor faz uma comparação das camadas do telhado verde às camadas de um sanduíche, conforme ilustrado na Figura 8, conforme Snodgrass e McIntyre (2010). As camadas incluem:

- 1 - Pavimento do telhado, isolamento e impermeabilização;
- 2 - Proteção e camada de armazenamento;
- 3 - Camada de drenagem;
- 4 - Camada anti-raízes filtro permeável;
- 5 - Camada de substrato;
- 6 - Vegetação.

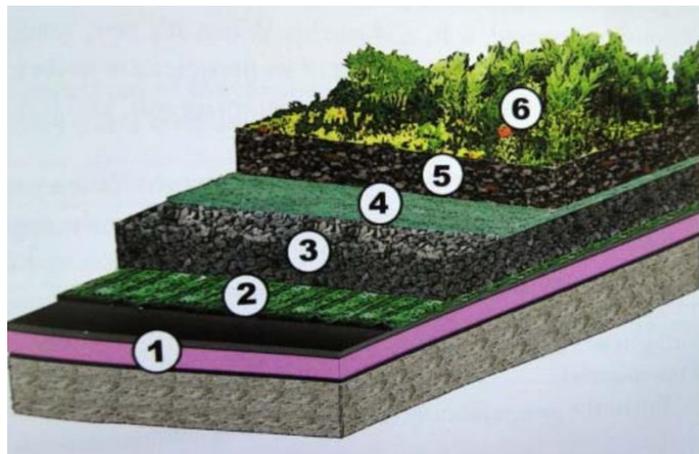


Figura 8: Componentes de um telhado verde. 1) Pavimento do telhado, isolamento e impermeabilização. 2) Proteção e camada de armazenamento. 3) Camada de Drenagem. 4) Camada anti-raízes, filtro permeável. 5) Camada de substrato, 6) Vegetação.

Fonte: Snodgrass e McIntyre (2010)

No que se refere a retenção da água de chuva, no sistema de captação convencional não há retenção da água de chuva no telhado, porém há a necessidade do descarte das primeiras águas. Após o descarte, a água segue para o reservatório.

No telhado verde, uma quantidade significativa da água pluvial fica retida no substrato, materiais de planta e na camada de drenagem (CANTOR, 2008). Um estudo feito na cidade de Portland (EUA) mostrou retenção do volume da água entre 10-35%

durante a estação chuvosa e 65-100% durante a estação seca, já que, durante a estação chuvosa, quando o telhado já está muito úmido, há maior escoamento e menor retenção de água. Há redução do pico de fluxo, ou seja, em todas as tempestades são reduzidos os picos de vazão (CANTOR, 2008).

A água pluvial captada pelo sistema convencional necessita de um filtro antes de seguir para a cisterna. Nos telhados verdes a ação da vegetação e do substrato funciona como filtros. No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2007) regulamenta o uso da água de chuva através da Norma NBR 15527, que fornece requisitos para o aproveitamento das águas de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

O efeito conhecido como ilha de calor urbano ocorre quando áreas verdes são substituídas por superfícies compostas de concreto e asfalto, com cores escuras. Essas superfícies absorvem e retêm calor por mais tempo que as áreas verdes, resultando em um acréscimo de temperatura na cidade (ROCHA; SOUZA; CASTILHO, 2011). Os telhados verdes apresentam bom comportamento diante da redução dos efeitos das ilhas de calor urbano (ROSENZWEIG; GAFFIN; PARSHALL, 2006).

Segundo Baldessar (2012), o emprego de vegetação nos ambientes construídos ajuda no conforto térmico, pois durante seu processo de evapotranspiração, esfriam a temperatura do edifício, e se fossem instalados em grande escala, teriam um potencial de mitigação do efeito de ilha de calor.

O telhado verde filtra as partículas de poeiras e fuligem do ar, mantendo a deposição atmosférica, e reduzindo as cargas de poluentes, contribuindo para manter a qualidade do ar.

Com relação ao quesito de energia, de acordo com Baldessar (2012), toda a espessura do telhado verde age como um isolante térmico, o que possibilita reduzir os requisitos de ar condicionado no verão e diminuir a necessidade de aquecimento no inverno. Os telhados verdes podem proporcionar um menor consumo de energia sem abrir mão do conforto ambiental.

Utilizando-se plantas nativas da região, o telhado verde funciona como um reforço do ecossistema para insetos e pássaros, conforme exemplo da Figura 9, permitindo uma preservação do habitat.



Figura 9: Plantas e restauração dos ecossistemas naturais.
Fonte: Snodgrass e McIntyre (2010)

Outra vantagem do telhado verde em relação ao telhado convencional é quanto à estética. Ele inclui ao meio ambiente um visual mais ameno e contemplativo.

2.3.2 Calhas, condutores verticais e horizontais

A água captada pela cobertura dirige-se para o ponto mais baixo, seja o beiral ou o encontro com outros planos inclinados ou ralos; nestes devem ser instaladas as calhas que conduzem a água para as tubulações coletoras. As seções das calhas possuem várias formas, dependendo do projeto. A norma NBR 10844 cita materiais, definições e critérios para o dimensionamento de calhas e condutores em sistemas de águas pluviais, visando garantir níveis aceitáveis de funcionalidade, segurança, conforto, durabilidade e economia.

2.3.3 Telas ou filtros

Telas e filtros são empregados para remoção de materiais grosseiros. Após a água ser coletada das áreas impermeáveis, ela é filtrada e armazenada em cisternas. O tratamento das águas pluviais depende da qualidade da água coletada e do seu destino final. É importante destacar que poeira e a fuligem se acumulam nas áreas de coleta, contaminando as águas. A Figura 10 ilustra o exemplo de um tipo de filtro utilizado em sistemas de captação de águas pluviais.

As condições de limpeza da área de coleta devem ser consideradas nos possíveis empregos dessas águas. Segundo Fendrich e Oliynik (2002) e Tomaz (2010), a eliminação da primeira porção da água coletada, chamada *first flush* é uma forma prática de se amenizar a poluição das águas pluviais pelos poluentes dispersos na atmosfera.

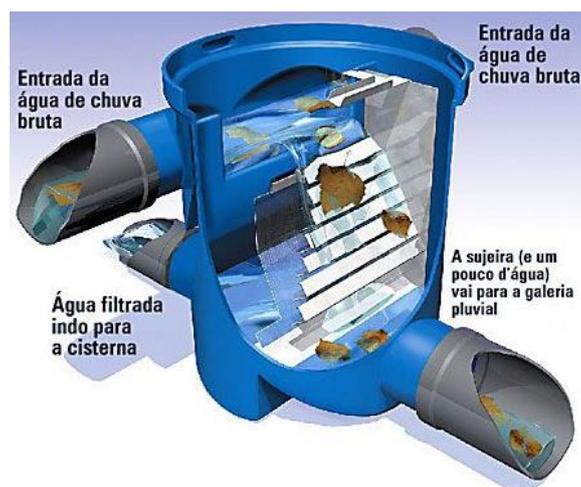


Figura 10: Filtro autolimpante.
Fonte: Aqualimp (2016)

Também se verifica que existe influência do ambiente em que se encontra o material do telhado, pois podem ser encontradas impurezas locais como fezes e penas de animais favorecendo sua contaminação. Segundo Calheiros, Gomes e Anco Estrella (2014), estes fatores são de difícil controle, e o uso das águas pluviais deve ser prioritariamente para fins não potáveis. A NBR 15527/07 cita que é critério do profissional o uso ou não desses sistemas, pois há casos em que não há necessidade, mas há casos em que há riscos à saúde que se torna necessário.

Os primeiros milímetros de chuva são responsáveis pela limpeza da atmosfera e da superfície de captação através do arraste de substâncias como poeira acumulada, folhas e grãos de areia. O descarte das primeiras águas de chuva é uma forma de se evitar que o carregamento dessas impurezas siga para o reservatório. De acordo com Costa (2011), diversas técnicas são empregadas para o descarte destas primeiras águas de chuva, com funcionamento baseado no peso da água, no volume, em boias e até mesmo o descarte manual através da abertura e fechamento de um registro. Um sistema de descarte inicial como mostrado nas Figura 11 e Figura 12 pode ser utilizado em telhados segundo Tomaz (2005).

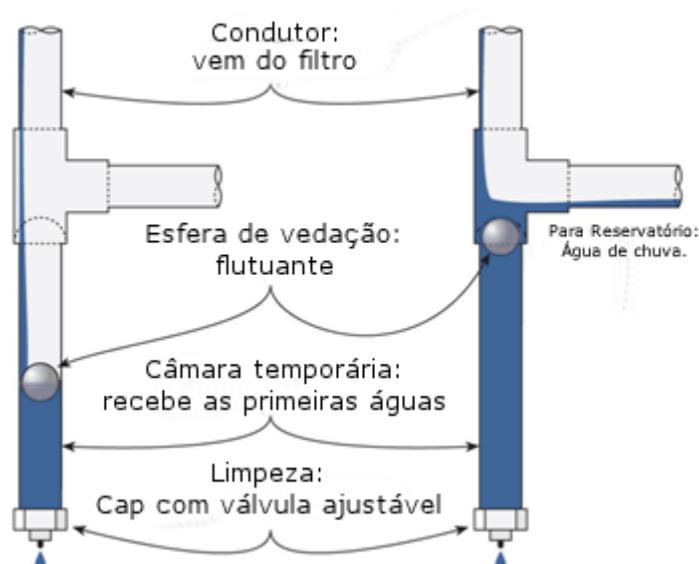


Figura 11: Funcionamento do sistema de descarte de escoamento inicial
Fonte: RainHarvesting (2016)

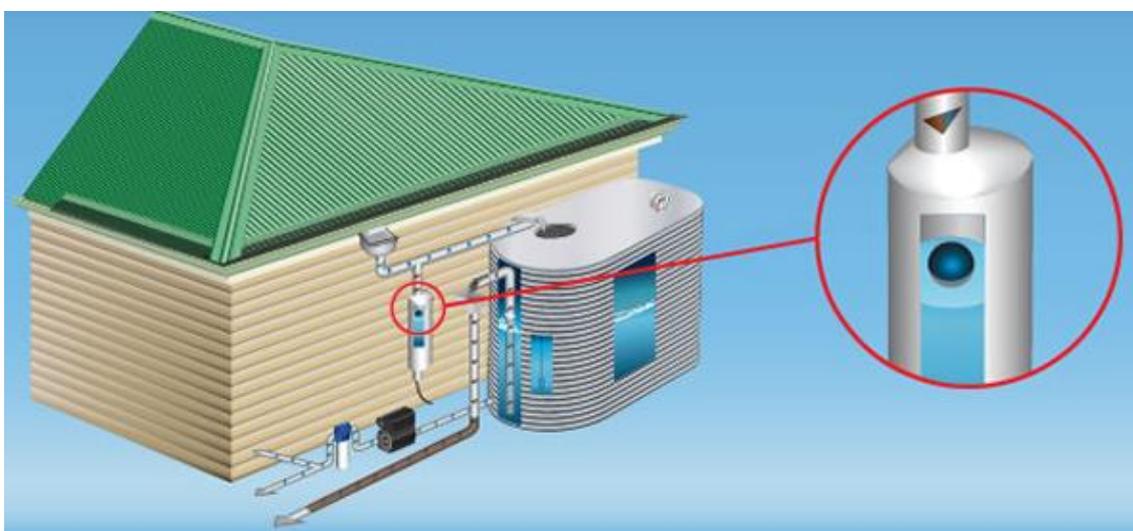


Figura 12: Descarte inicial, desviadores de água
Fonte: RainHarvesting (2016)

Segundo Tomaz (2007), o valor dimensionado para o descarte de escoamento inicial varia de $0,4 \text{ L/m}^2$ de telhado a 8 L/m^2 de telhado conforme o local. Na falta de dados locais sugere-se o valor de descarte como 2 L/m^2 (2 mm) de área de telhado, igual ao adotado pela NBR 15527/07.

2.3.4 Reservatório ou Cisterna

A água coletada pelas calhas, condutores verticais e horizontais é armazenada em cisternas de diferentes materiais como fibra de vidro, polietileno, concreto armado, bloco de concreto, alvenaria de tijolos, aço e outros, e podem ser apoiadas, enterradas ou elevadas. Geralmente a cisterna é o componente mais dispendioso do sistema de aproveitamento de água pluvial, por isso seu dimensionamento requer certo cuidado.

A água armazenada nas cisternas deverá ser utilizada para fins não potáveis, como, por exemplo, em vaso sanitário, que é responsável por 35% do consumo total de uma residência, também em garagens para lavagem de veículos e regas de jardins. (RUPP; MUNARIN; GHISI, 2011).

Se a área da captação, a precipitação local e a demanda são conhecidas, pode-se calcular o volume mínimo do reservatório de água de chuva. Dependendo do volume obtido no cálculo e das condições locais, o armazenamento poderá ser realizado para atender as seguintes situações: armazenar água somente para suprir a demanda local por alguns dias, por alguns meses ou para o ano inteiro. Geralmente, o cálculo é realizado na tentativa de atender a toda a demanda pelo maior período possível e com o menor custo de implantação (AMORIM; PEREIRA, 2008).

2.3.5 Bomba

São empregadas em edificações onde a força de gravidade não é suficiente para permitir a utilização direta da água do reservatório, nos pontos de consumo, ou quando há opção de utilização de reservatório inferior e reservatório superior.



Figura 13: Detalhe da Bomba
Fonte: Aqualimp (2016)

2.4 Programa Computacional Netuno

Segundo Rocha (2009) o programa Netuno é um modelo comportamental, ou seja, faz uma classificação de tipos de dimensionamentos, onde se adota o princípio de transferência de massa para prever a operação do reservatório de armazenamento de água pluvial, como mostra a Figura 14 (ROEBUCK; ASHLEY, 2006):

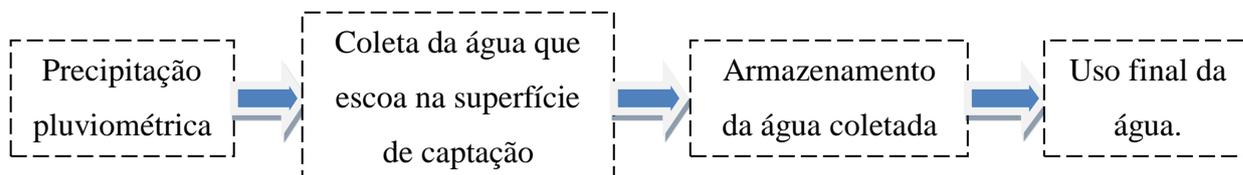


Figura 14: Princípio de transferência de massa.

Fonte: adaptado de Roebuck e Ashley (2006)

A modelagem de sistemas de aproveitamento de água pluvial pode assumir a configuração básica ilustrada na Figura 15 em função da área de captação ($A - m^2$) e da capacidade de armazenamento do reservatório ($S - m^3$).

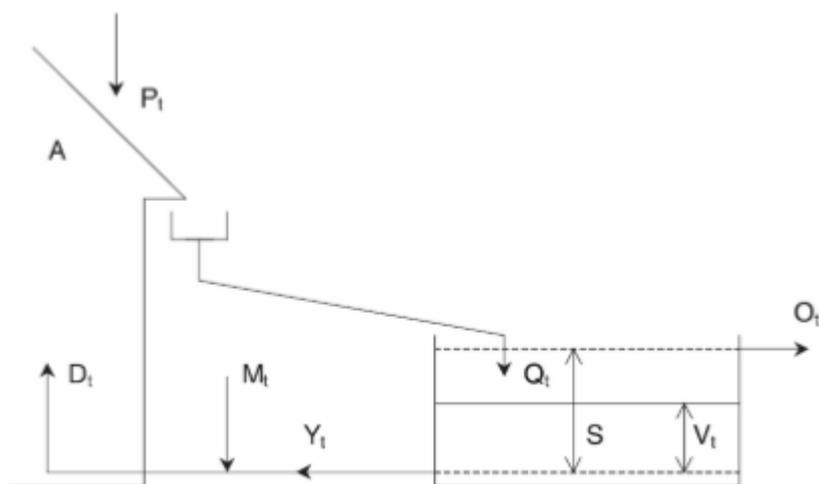


Figura 15: Configuração básica de um sistema de aproveitamento de água pluvial.

Fonte: adaptado de Fewkes (1999).

Na Figura 15, no intervalo de tempo t , tem-se:

P_t = precipitação pluviométrica (mm);

Q_t = volume de chuva escoado (m^3);

M_t = suprimento da rede de abastecimento (m^3);

O_t = volume extravasado do reservatório (m^3);

V_t = volume do reservatório (m^3);

Y_t = volume consumido ou retirado do reservatório (m^3);
 D_t = demanda de água pluvial (m^3).

Jenkinset et al. (1978) apud Fewkes (1999) identificaram dois algoritmos para descrever a operação de armazenamento de água pluvial no reservatório. Um deles considera o armazenamento após o consumo (YAS) e o outro considera o armazenamento antes do consumo (YBS). As variáveis obedecem a mesma correspondência das variáveis ilustradas na Figura 15.

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 .

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 que a demanda, esta é atendida plenamente; se o volume é inferior à demanda, esta é complementada com água potável.

No software Netuno, 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.

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, 2007).

Inicialmente, calcula-se o volume aproveitável de água pluvial que escoar pela superfície de captação e é conduzido ao reservatório de armazenamento. Em seguida, calcula-se, o volume de água pluvial armazenado no reservatório e o volume de água pluvial consumido, respectivamente, através dos fluxogramas das Figura 16 e 17, onde as siglas identificadas equivalem a:

V_R = volume de água pluvial armazenado no reservatório (litros);
 V_C = volume de água pluvial consumido (litros);
 V_{RA} = volume de água pluvial armazenado no reservatório no intervalo de tempo imediatamente anterior (litros);
 V_{ap} = volume aproveitável de água pluvial (litros);
 V_T = volume útil do reservatório (litros);
 D_{apluv} = demanda de água pluvial (litros).

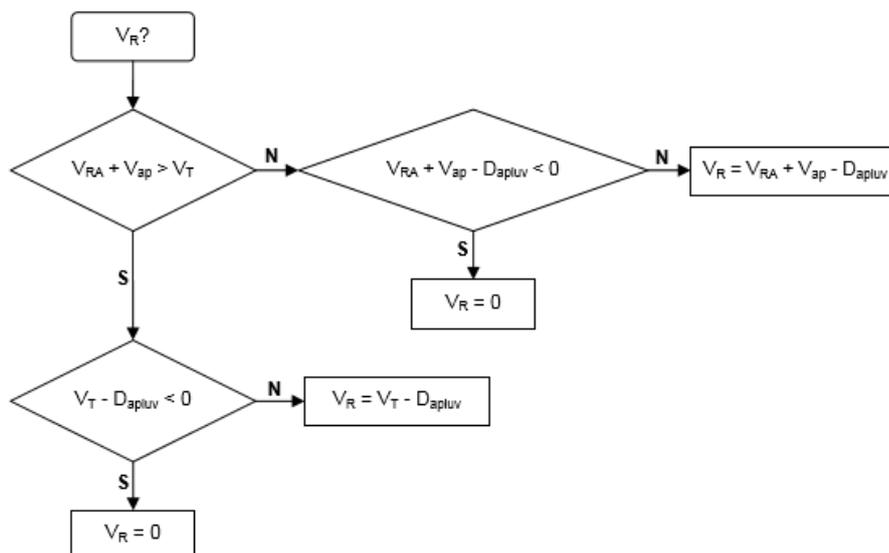


Figura 16: Algoritmo do programa Netuno para obtenção do volume de água pluvial armazenado no reservatório.

Fonte: Rocha (2009).

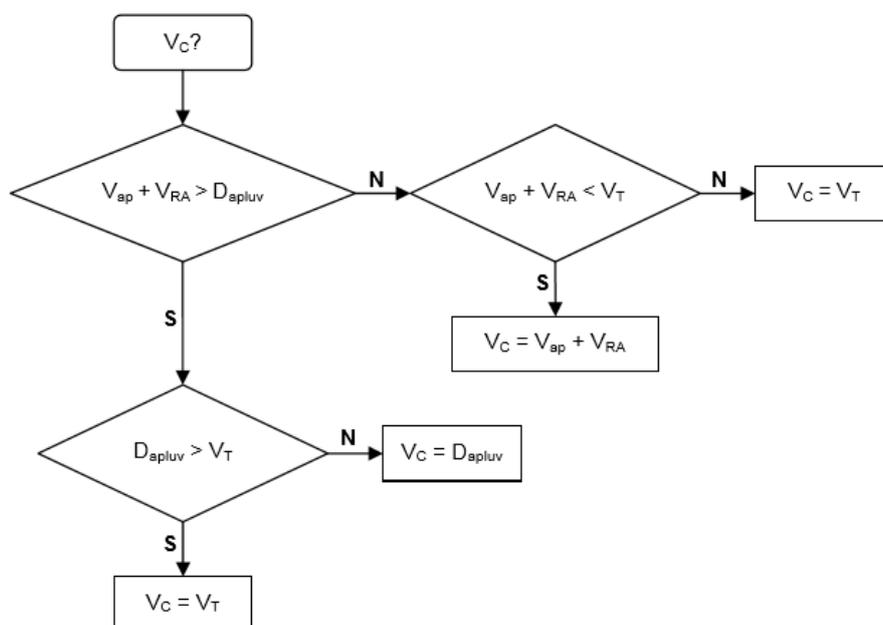


Figura 17: Algoritmo do programa Netuno para obtenção do volume de água pluvial consumido.

Fonte: Rocha (2009).

Caso a primeira condição do fluxograma da Figura 16 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.

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 à 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.

2.4.1 Validação do Software Netuno

O trabalho de Rocha (2009) 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 em edificações utilizando dados reais junto a uma edificação localizada em Florianópolis, denominada Casa Eficiente com 260 m² de área construída.

Foram feitas comparações entre os potenciais de economia estimados pelos algoritmos do programa Netuno e as economias de água obtidas na Casa Eficiente, de forma independente para cada modo de avaliação (semanal individual e semanal acumulado) e o intervalo de tempo (horário e diário) definido para as simulações.

Ainda segundo Rocha (2009), a principal conclusão obtida em seu 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.

2.5 Aspectos Legais sobre o uso das águas pluviais

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS - ABRH (2013), a estrutura dos princípios jurídicos brasileiros sobre a temática ambiental é um

dos mais avançados do mundo. O capítulo VI da Constituição Federal de 1988 tece argumentações e fornece diretrizes a respeito do meio ambiente, citando em seu Art. 225 que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para a presente e futuras gerações”.

Essa postura em relação ao meio ambiente possibilita implementar mecanismos que subsidiam as políticas ambientais no rumo da qualidade de vida e do bem-estar humano. Desde o Brasil Império, a legislação brasileira já zelava pela relação da saúde com a água. Por exemplo, na Lei nº 1, de 01/10/1828, já trazia diretrizes ambientais e focava no alcance da qualidade de vida. Segundo Rivelli (2005), a lei “tecia considerações ambientais e a polícia deveria zelar pelos poços, tanques, fontes, aquedutos e chafarizes”.

Em relação à água da chuva, alguns fatos históricos apontam que ela já vem sendo utilizada pela civilização há milhares de anos. De acordo com Tomaz (2003), já foram encontrados reservatórios escavados desde 3.600 a.C. e a Pedra Moabita, encontrada no Oriente Médio, datada de 850 a.C., sugere que as casas tinham captação de água pluvial.

A utilização da água de chuva é muito difundida nos países desenvolvidos, apresentando forte legislação em relação ao seu uso. Segundo a ABRH (2013), dentre alguns exemplos de nações que utilizam a água pluvial desde serviços de rega de jardim, até mesmo sua ingestão, estão Japão, EUA, Alemanha e Austrália.

No Nordeste do Brasil, o Programa Um Milhão de Cisternas, (P1MC) criado no início dos anos 2000, é uma ação de mobilização social promovida pela Articulação do Semiárido, ASA, que tem como objetivo possibilitar aos nordestinos o acesso a água potável por meio de construções das cisternas de placa. Desde 2003, aproximadamente 420.000 cisternas foram construídas (ASA, 2013).

O Estado do Amazonas possui uma iniciativa institucional promovida pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável, SDS, que conseguiu recursos do Programa Água para Todos, do governo federal, para o acesso à água aos ribeirinhos, através da captação da água pluvial. No Pará, a utilização da água de chuva também é uma realidade em diversas ilhas próximas a Belém.

A gestão dos recursos hídricos, conforme a ABRH, é definida como um processo que visa administrar o uso racional dos estoques de água, controlando seu aproveitamento sem comprometer o meio natural e o bem-estar da sociedade, preservando o recurso. O aproveitamento de água pluvial deve ser visto como uma estratégia de gestão de recursos hídricos.

De acordo com a *Organization of American State* (1997) apud May (2004), na América do Sul e Caribe, a limitação econômica, a ausência de coordenação interinstitucional e multidisciplinar e a ausência de legislação adequada são os maiores problemas enfrentados para implementar as técnicas de gestão das águas pluviais.

Segundo a Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva (2014) já é tempo da captação das águas pluviais ser incluída nos planos de desenvolvimento das agências governamentais, como parte das suas estratégias de manejo dos recursos hídricos integrados. Os Aspectos legais se dividem em diversos âmbitos: Nacional, Estadual e Municipal. Nas próximas seções serão abordadas individualmente.

2.5.1 Nacional

Em 1934, o decreto federal nº 24.643, conhecido como o Código das Águas, consubstanciou a base da legislação voltada para a temática água. O instrumento legisla também sobre o conceito de águas pluviais e sobre o direito de seu uso (artigos 102 a 108), atribuindo sua propriedade ao dono do prédio onde elas caírem diretamente.

A promulgação da lei 9.433 que, em 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Esse normativo, conhecido como Lei das Águas, fornece instrumentos que possibilitam a melhoria da gestão sistemática do recurso.

Nacionalmente, não há um ordenamento jurídico que discipline especificamente sobre o uso das águas pluviais. Indiretamente, a lei nº 11445/2007, conhecida como lei do Saneamento Básico, estabelece alguns critérios para o manejo de água pluvial. Seu decreto regulamentador nº 7217/2010 admitiu, como forma de viabilizar o manejo da água da chuva, a alimentação da instalação hidráulica predial ligada à rede pública de abastecimento de água via aproveitamento de água da chuva, desde que devidamente autorizadas pela autoridade competente.

No plano federal, tramitam apenas Projetos de Lei. No Senado Federal os Projetos de Lei no 411/2007 e no 432/2011 instituem mecanismos de estímulo à instalação dos sistemas de captação, armazenamento e utilização das águas pluviais. Conforme o Quadro 1, nenhum normativo jurídico até o momento é efetivamente voltado para a regulamentação de um programa nacional de aproveitamento de águas pluviais.

A nível federal, a legislação ainda não se desenvolveu efetivamente e o assunto vem sendo protelado. Na Alemanha, as leis favorecem a captação e utilização da água de

chuva. Na Austrália se utiliza a água de chuva até mesmo para beber e existem normas a respeito de instalações de captação, uso e qualidade das águas pluviais. (GNADLINGER, 2005).

No Art. 4 da Instrução Normativa n 1/2010 emitida pelo Ministério do Planejamento de Orçamento e Gestão, conforme transcrito a seguir, fornece uma série de especificações e exigências que visam à redução do consumo de energia e água, utilização de tecnologias e materiais que reduzam o impacto ambiental e serviços como a captação, aproveitamento e utilização da água pluvial, agregado ao sistema hidráulico (BRASIL, 2010).

Art. 4º Nos termos do art. 12 da Lei nº 8.666, de 1993, as especificações e demais exigências do projeto básico ou executivo, para contratação de obras e serviços de engenharia, devem ser elaborados visando à economia da manutenção e operacionalização da edificação, a redução do consumo de energia e água, bem como a utilização de tecnologias e materiais que reduzam o impacto ambiental, tais como:

I – uso de equipamentos de climatização mecânica, ou de novas tecnologias de resfriamento do ar, que utilizem energia elétrica, apenas nos ambientes aonde for indispensável;

II – automação da iluminação do prédio, projeto de iluminação, interruptores, iluminação ambiental, iluminação tarefa, uso de sensores de presença;

III – uso exclusivo de lâmpadas fluorescentes compactas ou tubulares de alto rendimento e de luminárias eficientes;

IV – energia solar, ou outra energia limpa para aquecimento de água;

V – sistema de medição individualizado de consumo de água e energia;

VI – sistema de reuso de água e de tratamento de efluentes gerados;

VII – aproveitamento da água da chuva, agregando ao sistema hidráulico elementos que possibilitem a captação, transporte, armazenamento e seu aproveitamento;(grifo nosso)

VIII – utilização de materiais que sejam reciclados, reutilizados e biodegradáveis, e que reduzam a necessidade de manutenção; e

IX – comprovação da origem da madeira a ser utilizada na execução da obra ou serviço.

§ 1º Deve ser priorizado o emprego de mão-de-obra, materiais, tecnologias e matérias-primas de origem local para execução, conservação e operação das obras públicas.

§ 2º O Projeto de Gerenciamento de Resíduo de Construção Civil - PGRCC, nas condições determinadas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, através da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, deverá ser estruturado em conformidade com o modelo especificado pelos órgãos competentes.

§ 3º Os instrumentos convocatórios e contratos de obras e serviços de engenharia deverão exigir o uso obrigatório de agregados reciclados nas obras contratadas, sempre que existir a oferta de agregados reciclados, capacidade de suprimento e custo inferior

em relação aos agregados naturais, bem como o fiel cumprimento do PGRCC, sob pena de multa, estabelecendo, para efeitos de fiscalização, que todos os resíduos removidos deverão estar acompanhados de Controle de Transporte de Resíduos, em conformidade com as normas da Agência Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, ABNT NBR n°s 15.112, 15.113, 15.114, 15.115 e 15.116, de 2004, disponibilizando campo específico na planilha de composição dos custos.

§ 4º No projeto básico ou executivo para contratação de obras e serviços de engenharia, devem ser observadas as normas do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO e as normas ISO n° 14.000 da Organização Internacional para a Padronização (International Organization for Standardization).

§ 5º Quando a contratação envolver a utilização de bens e a empresa for detentora da norma ISO 14000, o instrumento convocatório, além de estabelecer diretrizes sobre a área de gestão ambiental dentro de empresas de bens, deverá exigir a comprovação de que o licitante adota práticas de desfazimento sustentável ou reciclagem dos bens que forem inservíveis para o processo de reutilização.

Quadro 1: Projetos de Leis Federais sobre o aproveitamento das águas pluviais tramitando na Câmara dos Deputados

Projeto de Lei	Ementa	Situação do Trâmite
PL 4109/2012	Institui o Programa Nacional de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas.	Aguardando Parecer na C. de Minas e Energia
PL 2457/2011	Altera a Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 da Cidade), e a Lei nº 4.380, de 21 de agosto de 1964, que dispõe sobre o Sistema Financeiro da Habitação, para instituir mecanismos de estímulo à instalação de sistemas de coleta, armazenamento e utilização de águas pluviais em edificações públicas e privadas.	Aguardando Designação de Relator
PL 1310/2011	Dispõe sobre a Política Nacional de Gestão e Manejo Integrado de Águas Urbanas e dá outras providências.	Apensada ao PL 4946/2001
PL 682/2011	Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos em lotes, edificados ou não, nas condições que menciona, e dá outras providências.	Apensado ao PL 2750/2003
PL 242/2011	Dispõe sobre a utilização de energia solar e reaproveitamento da água da chuva na construção de habitações populares.	Apensada ao PL6250/2009
PL 2565/2007	Dispõe sobre a instalação de dispositivos para captação de águas de chuvas em imóveis residenciais e comerciais.	Apensado ao PL 2750/2003
PL 1069/2007	Dispõe sobre a contenção de águas de chuvas nas áreas urbanas.	Apensado ao PL 2750/2003
PL6250/2009	Dispõe sobre a utilização de energia solar e reaproveitamento da água da chuva na construção de habitações populares.	Apensada ao PL5733/2009
PL3322/2004	Dispõe sobre a obrigatoriedade de reservatórios ou cisternas para o acúmulo de água da chuva no território brasileiro.	Apensada ao PL2750/2003
PL 2750/2003	Estabelece o uso eficiente das águas e dá outras providências.	Apensada ao PL1616/1999

Algumas normas técnicas de amplitude nacional, voltadas diretamente para o aproveitamento das águas pluviais são: ABNT NBR 15527/2007 que trata dos requisitos para o aproveitamento das águas pluviais por meio de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, sua principal referência é a ABNT NBR 10844/1989, que fixa as exigências e critérios necessários aos projetos de drenagem das águas pluviais.

2.5.2 Estadual

As Leis e Projetos de Leis pesquisadas discorrem sobre o auxílio à instituição de políticas públicas ambientais como a criação do Programa de Captação de Água da Chuva, a redução dos efeitos de enchente pelo amortecimento dos reservatórios,

obrigação dos sistemas de captação residenciais, postos de gasolinas e órgãos públicos, estabelecimento de critérios construtivos e técnicos obrigatórios.

Na região nordeste, mesmo apresentando muitas experiências com o aproveitamento de água pluvial, como o PIMC, por exemplo, não foi possível tirar conclusões acerca da relação legislação versus gestão de águas pluviais. Pernambuco possui leis e o restante apenas Projetos de Lei. Mato Grosso, São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Distrito Federal e Paraná são exemplos de unidades federativas que já possuem legislação acerca da temática. Na região amazônica, os estados do Acre, Amapá e Rondônia apresentam leis vigentes. No Amazonas existem três Projetos de Lei que tratam do assunto. No Pará está em tramitação um Projeto de Lei sobre a criação do Programa de Captação de Água da Chuva no Estado. Bahia, Goiás, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Minas Gerais estão buscando a aprovação de Projetos de Lei.

2.5.3 Municipal

Quanto à atuação municipal, foi possível verificar legislações em São Paulo, Matão (SP), Curitiba, Maringá e Ponta Grossa no Paraná, Porto Alegre (RS). Nas capitais dos estados do semiárido, apenas Recife, Salvador e João Pessoa contam a lei que tratam sobre a utilização de águas pluviais. Fortaleza possui Projetos de Lei em tramitação. Manaus, na região amazônica, apresenta um Projeto de Lei em tramitação junto a Câmara de vereadores.

Algumas proposituras foram vetadas, como, por exemplo, as executadas nos municípios de Campinas (SP), Foz do Iguaçu (PR) e em Belo Horizonte (MG) onde foram vetados todos os Projetos de Lei propostos, totalizando cerca de 7 proposituras negadas. Segundo os parlamentares, um dos motivos fornecidos para a objeção, além da falta de condição técnica das concessionárias é a falta de norma técnica da ABNT para orientar o uso da água pluvial.

De acordo com Veloso e Mendes (2013), a legislação brasileira ainda é pouco atuante na temática do aproveitamento das águas pluviais. Mesmo que leis venham sendo desenvolvidas, são necessárias ações mais incisivas nesse sentido. Os estados das regiões sul e sudeste são os estados mais avançados sobre a questão, contudo na esfera federal, verifica-se morosidade nas conclusões dos projetos e falta de comprometimento em estabelecer uma política pública nacional de incentivo do uso e conservação dos recursos hídricos, pela captação e manejo das águas pluviais.

De forma geral, a maioria das iniciativas vislumbra o uso de águas pluviais em mercados, postos de lavagens de veículos, indústrias, prédios comerciais e outros. O uso em escolas além de dar exemplo à sociedade possibilita na educação ambiental e sensibilização da comunidade escolar. Apesar da evolução na legislação pautada em alguns critérios de sustentabilidade ambiental, associados à conservação dos recursos pluviais, verifica-se que há ausência de NBR's, que disciplinem critérios técnicos envolvidos no uso potável, o que é um fator prejudicial à credibilidade de modelos.

3 DADOS E METODOLOGIA

3.1 Dados

Neste estudo são utilizados dados de precipitação de quatro diferentes fontes: *Global Precipitation Climatology Centre (GPCC)*, *Global Precipitation Climatology Project (GPCP)*, Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Agência Nacional de Águas (ANA).

Carvalho et al (2012) compararam várias propriedades estatísticas da precipitação diária de diferentes dados gradeados (1998-2008) utilizando o GPCP e outros dados. E através da análise analítica demonstraram que a variação intrasazonal é algo semelhante em todos os conjuntos de dados utilizados.

Além dos dados de precipitação, para a realização das simulações de potencial de economia de água potável, também é necessária a utilização de outros dados de entrada no software Netuno, descritos nas seções a seguir.

3.1.1 Dados de precipitação

Quanto aos dados do GPCC e do GPCP, tem-se que a resolução horizontal é de $1^\circ \times 1^\circ$ e $2,5^\circ \times 2,5^\circ$, respectivamente. Os dados do GPCC são totais mensais de precipitação (em mm) para o período 1979-2010, enquanto os dados do GPCP são disponibilizados como taxas médias mensais de precipitação (em mm/dia) para o período 1979-2014. Para facilitar os cálculos e viabilizar a comparação entre os mesmos, os dados do GPCP são multiplicados por 30, pois, assim, tem-se o total mensal em mm, assim como os do GPCC. Nesse caso, optou-se por multiplicar apenas por 30 (e não pela quantidade exata de dias de cada mês) tendo em vista que isso facilita os cálculos e, como a série é longa, essa pequena diferença não causará impacto nos resultados.

Como os dados encontram-se gradeados, foram selecionados os pontos de grade mais próximos da localização da cidade de Itajubá ($22^\circ 25' 33''$ S e $45^\circ 27' 10''$ O) em ambas as fontes. Para o GPCC, o ponto de grade $22,5^\circ$ S e $44,5^\circ$ O foi selecionado. Para o GPCP, selecionou-se a longitude de 44° O, mas, no caso da latitude, tem-se disponível $23,75^\circ$ S e $21,25^\circ$ S. Assim, para decidir qual das duas será escolhida ou se será utilizado

o valor médio das duas localizações, as climatologias de ambos os pontos são calculadas e comparadas com a do GPCC.

Dados observados de precipitação coletados na PCD do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) disponíveis no sítio <<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/index.php>> também são utilizados. Tais dados pertencem ao período de abril de 1998 a dezembro 2014 e são fornecidos de três em três horas. Entretanto, esta série possui muitos dados faltantes e utilizá-los como base do trabalho poderia comprometer o mesmo. Sendo assim, como o ano de 2003 foi um dos mais completos em toda a série (detectado através de uma análise prévia), tendo 62 dados não preenchidos durante todo o ano, tal ano separadamente, assim como a climatologia de todo o período, são utilizados para comparações com os dados do GPCC e GPCP a fim de verificar se os mesmos podem ser utilizados como base, já que são comparados com dados de uma PCD.

Os dados coletados pela Agência Nacional de Águas (ANA) também são utilizados. Para o trabalho, é utilizado o último horário da medição diária (21:00). Tais dados estão disponíveis no sítio <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>> e o período disponibilizado da série histórica é de 1966 a 2015, sendo que de 1966 até 1999 os dados são consistidos, e de 2000 a 2015 os dados são brutos. Como os dados de precipitação a serem inseridos no software Netuno não podem conter descontinuidades, já que, se houver, o mesmo assume que não houve precipitação, a climatologia diária de chuva do período dos dados consistidos foi calculada e, em seguida, os dados faltantes em todo o período foram substituídos pelos valores referentes da climatologia. O período utilizado desses dados no presente trabalho é de 1986 a 2015. As principais informações da estação de coleta podem ser vistas no Quadro 2.

Vale destacar que a comparação entre as quatro diferentes fontes de dados é feita no período de 1998 a 2014, tendo em vista que tal período é comum a todas as fontes.

Quadro 2: Informações da estação de coleta da ANA

Nome da Estação	São João de Itajubá
Código da Estação Pluviométrica	02245083.Paraná
Bacia DENAEE	Rio Grande
Tipo de Coleta	Convencional. Estação apta a dados diários de chuva
Unidade da Federação	Minas Gerais
Município	Itajubá
Bacia Hidrográfica	Rio Paraná

3.1.2 Dados utilizados no Software Netuno

A Figura 18 mostra a janela principal do software Netuno, onde é possível visualizar os dados de entrada que são necessários para a realização de uma simulação. Os itens a seguir fornecem uma breve descrição desses dados de entrada.

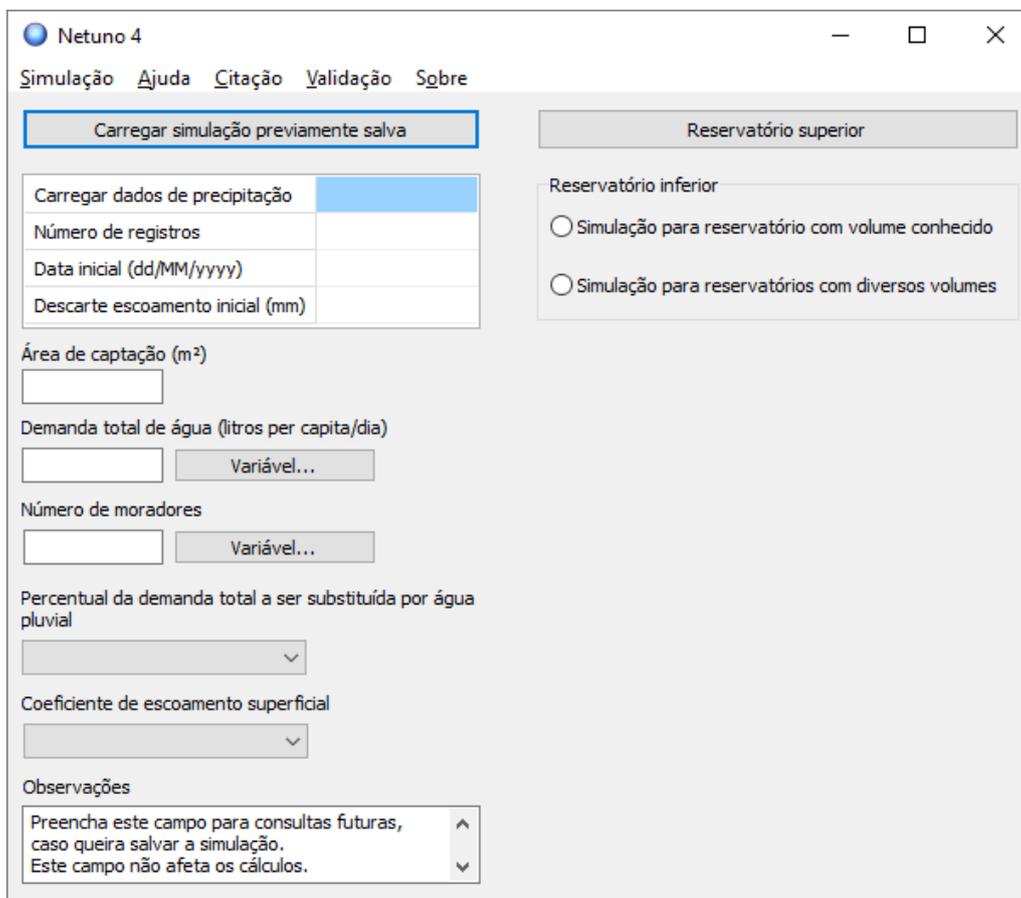


Figura 18: Janela principal do software Netuno

- **Dados de Precipitação**

O algoritmo do Netuno considera dados diários de precipitação. Sua utilização no programa se dá através de um arquivo externo, em formato CSV (Valores Separados por Vírgulas), que pode ser manipulado com o Bloco de Notas ou planilhas como Microsoft Excel, e deve estar em formato de vetor-coluna, ou seja, um dado por linha. Os dados não devem conter descontinuidades, ou seja, dias em que não há dados de precipitação, pois, nesse caso, o Netuno assumirá que não houve precipitação nesses dias.

- **Número de registros**

Este campo é preenchido automaticamente com base nos dados carregados de um arquivo de precipitação, conforme o item anterior. Nele fica exibida a quantidade de dados que serão utilizados na simulação.

- **Data inicial (dd/MM/yyyy)**

O campo data inicial corresponde ao primeiro dia da série de dados da precipitação, e é necessária a fim de fornecer resultados para cada mês do ano.

- **Descarte do escoamento inicial (mm)**

Também é exigida no software a definição do descarte da precipitação inicial. Caso a precipitação em um dado dia esteja abaixo desse valor, o Netuno considerará que não houve precipitação.

- **Área de captação (m²)**

A área de captação de água pluvial é dada, segundo a NBR 10844 (ABNT, 1989), pela soma das áreas das superfícies que, interceptando chuva, conduzem as águas para determinado ponto da instalação representada pela projeção horizontal da cobertura da edificação. As coberturas podem ser constituídas de diversos materiais como telha cerâmica, fibrocimento, zinco, ferro galvanizado, concreto armado, plástico, entre outros ou pelo telhado verde.

- **Demanda total de água (litros per capita/dia)**

A demanda total de água representa a quantidade de água necessária para atender as necessidades dos usuários da edificação. Esse dado pode ser:

- a) *Fixo*, onde se deve definir a demanda diária de água potável per capita;
- b) *Variável*, onde a demanda pode ser diária (em litros per capita/dia) ou mensal. A janela para entrada de dados deste caso é apresentada na Figura 19.

Demanda variável

Periodicidade dos dados

Diária Mensal

Período de repetição

OK Carregar arquivo

Dia	Demanda total de água (litros per capita/dia)

Concluir

Figura 19: Interface para demanda de água variável

A demanda em base mensal é convertida em base diária automaticamente pelo Netuno, de acordo com a quantidade de dias em cada mês. Os dados de demanda variável podem ser inseridos manualmente (preenchendo as células) ou carregados diretamente de um arquivo em formato CSV, através do botão “Carregar arquivo”. O primeiro dia da demanda variável será o mesmo da "data inicial" do arquivo de precipitação. Existe uma maneira de estimar o consumo de água potável residencial usando parâmetros de engenharia, porém a grande dificuldade de se aplicar esses parâmetros é o elevado número de informações necessárias e nem sempre disponíveis.

Nos Quadros 3 e 4 estão os parâmetros de engenharia utilizados nos trabalhos de Thomas (2009). Para adaptar esses valores a realidade local de Itajubá, os dados disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico (SNIS) foram utilizados. Para a localidade de Itajubá, segundo a tabela de informações e indicadores consolidados do SNIS, o índice INO22_AE no ano de 2014, o consumo diário era de 166,3 litros per capita/dia.

Conforme o censo demográfico de 2010 do IBGE, Itajubá possui 27.909 domicílios particulares permanentes e também uma população urbana de 90.658 habitantes. Com esses dados e com os valores estimados por Thomas (2009), os cálculos da demanda de água potável em áreas internas em uma edificação residencial para a cidade de Itajubá são, em média, conforme mostrados no Quadro 3:

Quadro 3: Parâmetros de Engenharia para estimativa da demanda residencial de água.

Uso Interno	Unidades	Valores Médios
Gasto mensal	m ³ /mês/pessoa	4,341
Número de pessoas na residência	Pessoa	3,25
Descarga	Descarga/pessoa/dia	5
Volume de descarga	Litros/descarga	9
Vazamento de bacias sanitárias	%	9
Frequência de banho	Banho/pessoa/dia	1
Duração do banho	Minutos	15
Vazão dos chuveiros	Litros/segundo	0,15
Uso de banheira	Banhos/pessoa/dia	0,1
Volume de água da banheira	Litros/banho	113
Lava louças	Carga/pessoas/dia	0,1
Volume de água da lava louças	Litros/ciclo	18
Lava roupas	Carga/pessoa	0,37
Volume de água da lava roupas	Litros/ciclo	108
Torneira da cozinha	Minutos/pessoa/dia	15
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,25
Torneira de banheiro	Minuto/pessoa/dia	4
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,20

Fonte: IBGE/adaptado de Tomaz (2009) para a localidade de Itajubá - MG

Para as áreas externas, em média, na localidade de Itajubá, utilizando-se os valores do IBGE e os utilizados em de acordo com Tomaz (2009), tem-se conforme o Quadro 4:

Quadro 4: Parâmetros de Engenharia para estimativa da demanda residencial de água.

Uso externo	Unidades	Valores
Casas com piscina	Porcentagem	0,1
Gramado ou jardim	Litros/dia/m ²	2
Lavagem de carros	Litros/lavagem/carro	150
Lavagem de carros frequência	Lavagem/mês	4
Mangueira de jardim 1/2"x20m	Litros/dia	50
Manutenção de piscina	Litros/dia/m ²	3
Perdas por evaporação em piscina	Litros/dia/m ²	5,75
Reenchimento de piscinas	Anos**	10
Tamanho da casa	m ²	30 a 450
Tamanho do lote	m ²	125 a 750

Fonte: IBGE/adaptado de Tomaz (2009) para a localidade de Itajubá – MG.

** A cada 10 anos deve-se esvaziar e reencher a piscina.

Como substituição, a água da chuva pode ser utilizada nas descargas dos vasos sanitários, que é um ponto crítico de consumo (gasto de até 9 litros por acionamento), nos jardins como rega de plantas e lavagem de terraços ou garagens e lavagem de carro. Utilizando-se os valores do IBGE para frota total tem-se o valor total de 33.336 veículos automotores e como Itajubá possui 27.909 domicílios, o valor utilizado foi de 1 veículo por residência, conforme visto no Quadro 5.

Quadro 5: Parâmetros de Engenharia para estimativa da demanda residencial de água

Consumo	Cálculo	Resultado
Vaso Sanitário Uso interno	$(3 \text{ pessoas}) \times (5 \text{ descargas}) \times (9 \text{ litros}) \times (1,09 \text{ vazamento}) \times (30 \text{ dias})$	4415 litros
Lavagem de carro Uso externo	$(1 \text{ carro}) \times (4 \text{ vezes/mês}) \times (150 \text{ litros/lavagem})$	600 litros
Mangueira para piso Uso externo	$(15 \text{ min}) \times (4 \text{ vezes/mês}) \times (18,6 \text{ litros/min})$	1116 litros
Rega de gramado/jardim Uso externo	$(2 \text{ litros/dia/m}^2) \times (12 \text{ dias}) \times (50 \text{ m}^2)$	1200 litros
		Total: 7331 litros/mês

Fonte: IBGE/adaptado de Tomaz (2009) para a localidade de Itajubá - MG

- **Número de moradores**

Utilizado para calcular a demanda diária total de água para cada caso, este dado é inserido por meio do número total de moradores da residência ou usuários da edificação. Caso a demanda total de água seja selecionada como variável e com periodicidade mensal selecionada para uma determinada simulação, este valor é automaticamente definido como 1, pois as demandas totais já consideram implicitamente o número de moradores na edificação. O número de moradores pode ser inserido manualmente (preenchendo as células) ou carregado diretamente de um arquivo em formato CSV. Para a cidade de Itajubá, o número médio encontrado de moradores é de 3,25. Porém analisando-se a distribuição de moradores por domicílio para a cidade de Itajubá conforme apresentada na Figura 20, optou-se por utilizar nas simulações iniciais para calibração dos dados de chuva o valor de 3 moradores, e nos cenários de utilização os valores de 2 e 4 moradores.

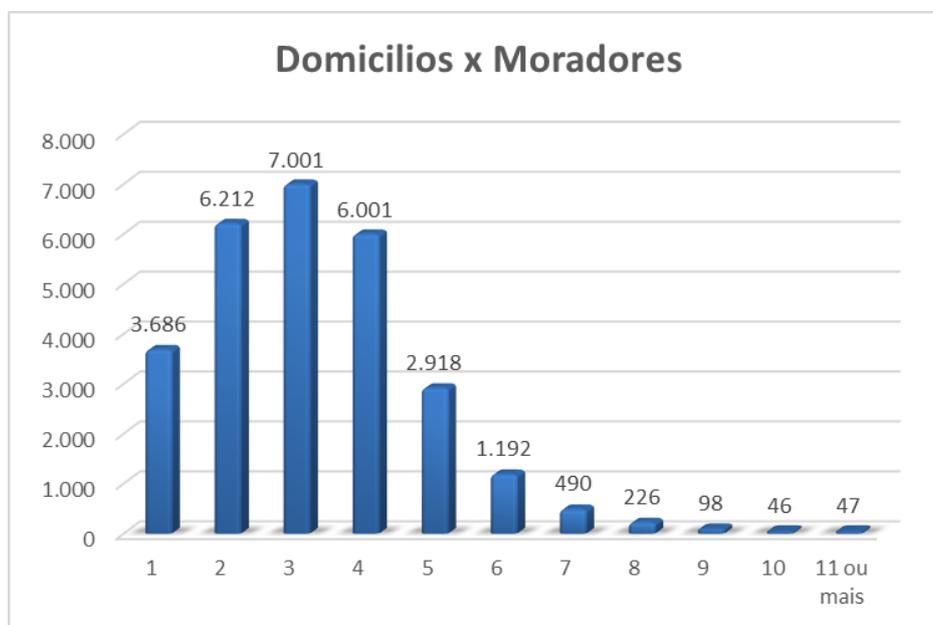


Figura 20: Distribuição da quantidade de moradores, nos domicílios particulares permanentes em Itajubá.
Fonte: IBGE (2010)

- **Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial**

Este dado é definido a partir de estudos sobre usos finais de água em edificações e representa a porcentagem da demanda de água que pode ser suprida por água pluvial. Com esse percentual é possível calcular a demanda diária de água pluvial, pois os dados de entrada (precipitação, demanda) estão em valores diários. O valor inserido no Netuno

deve ser maior que 0 e menor ou igual a 100. O valor foi escolhido de acordo com os cálculos a seguir:

Conforme o Quadro 5, tem-se que a quantidade de água tratada que pode ser substituída por água pluvial, em uma residência típica de Itajubá é de 7331 litros/mês. A demanda total de água é 166,3 litros/por dia/por pessoa segundo a tabela de informações e indicadores consolidados do SNIS para a localidade de Itajubá. Como a simulação de calibração será para 3 (número médio de moradores de Itajubá, Quadro 3) então:

$166,3 \times 3 = 498,9$ litros por dia, que resulta num consumo mensal de $498,9 \times 30 = 14967$ litros por mês.

Com base nesses dados pode-se concluir que $7331/14967 = 0,4898 = 48,98\%$ (porcentagem que pode ser substituída).

Para uma residência com 4 moradores o percentual de substituição pode ser calculado com base nos dados do Quadro 5, substituindo-se no item de consumo “ vaso sanitário” o valor 4. Desta forma o consumo provável de água pluvial ficaria em $8802/19956 = 0,4411 = 44,11\%$.

Adotou-se o valor de 50% para as simulações de calibração e dos cenários. Valores predefinidos em intervalos de 10% estão disponíveis na interface do Netuno. Para valores diferentes, utiliza-se a opção “Outro valor”, disponível logo abaixo de 100%.

- **Coefficiente de escoamento superficial**

O coeficiente de escoamento superficial (C), também conhecido como coeficiente *Runoff* ou coeficiente de deflúvio, é utilizado para representar o percentual do volume total de precipitação que é coletado pelo sistema de água pluvial. Assim, desconsidera-se o volume de água pluvial perdido por absorção e evaporação e outras perdas ao atingir a superfície de captação, pois o volume de água a ser aproveitado não é o mesmo do volume precipitado.

Não é possível que o aproveitamento de água da chuva seja total – ou 100%. Por esse motivo utiliza-se esse coeficiente de escoamento superficial que varia de acordo com o material da superfície de captação e deve ser inserido manualmente. O coeficiente de *Runoff* é definido pela razão do volume de água escoado superficialmente por ocasião de uma chuva e o volume total da água precipitada. De acordo com Tomaz (2011), para os diversos materiais de telhados, este coeficiente pode ser definido de acordo com o Quadro 6:

Quadro 6: Coeficiente de *Runoff* médios

Material do telhado	Coeficiente de <i>Runoff</i>
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico, PVC	0,9 a 0,95

Fonte: TOMAZ (2011)

No caso de telhados verdes, segundo Köhler, Schmidt e Sickermann (2001) aproximadamente 75% da precipitação anual podem ser armazenadas no telhado verde e o volume não consumido pelo substrato pode ser utilizado como alternativa para substituir a água na descarga de vasos sanitários ou na rega de jardins.

Este valor é próximo ao valor obtido por Khan (2001) apud Tomaz (2005) onde foi calculado o valor médio do coeficiente de escoamento superficial igual a 0,27, que será utilizado neste trabalho. Esse valor de coeficiente implica em uma perda para o aproveitamento de 73% de água pluvial, o que reduz o volume aproveitável de água de chuva pela captação através do telhado verde, quando comparado aos telhados convencionais com escoamento superficial variando de 0,8 a 0,95.

Estes valores sugerem que o volume potencialmente aproveitável é consideravelmente menor em sistemas de aproveitamento que utilizam o telhado verde como constituinte da captação, porém deve-se considerar a possibilidade do telhado verde não necessitar do descarte dos primeiros milímetros de precipitação.

A variação dos valores do coeficiente de escoamento das coberturas verdes depende da espessura do substrato e da vegetação cultivada. Em seus estudos em telhados verdes com pequenos declives, Calil *et al.* (2014) encontraram coeficientes de deflúvio (*Runoff*) de $C = 0,25$, após a saturação do sistema de telhados com espessura de 10 cm. Isso significa amortecimento dos picos de escoamento na ordem de 75%. Em um telhado verde o coeficiente de escoamento superficial pode ser bastante variável, devido à inclinação, espessura do substrato e o tipo de vegetação do telhado, conforme demonstra o Quadro 7.

Quadro 7: Coeficiente de escoamento para telhado verde de acordo com sua espessura e inclinação.

Espessura e (cm)	Coeficiente de escoamento para telhado verde	
	Inclinação até 15°	Inclinação acima de 15°
$e \geq 50$	0,1	-
$25 \leq e \leq 50$	0,2	-
$15 \leq e \leq 25$	0,3	-
$10 \leq e \leq 15$	0,4	0,5
$6 \leq e \leq 10$	0,5	0,6
$4 \leq e \leq 6$	0,6	0,7
$2 \leq e \leq 4$	0,7	0,8

Fonte: FLL (2002)

Conforme pode ser observado nos dados do Quadro 7, telhados com menor espessura e maior declividade apresentam maior coeficiente de escoamento superficial, sendo, portanto, os mais indicados no caso de aproveitamento das águas pluviais.

- **Reservatório Superior**

A água captada dos telhados segue para ser armazenada no reservatório inferior, que geralmente são cisternas escavadas no solo. Essa água será bombeada para o reservatório superior, localizado nos telhados da edificação, conhecido por barrilete.

No sistema de captação, se não existir reservatório superior, considera-se que a água pluvial armazenada é consumida diretamente do reservatório inferior. Caso exista, a água pluvial é armazenada no reservatório inferior, recalca para o reservatório superior e destinada aos pontos de consumo. Neste caso, pode-se especificar seu volume ou o Netuno escolhe esse volume, que é definido como sendo igual à demanda diária média de água pluvial, pois tanto a demanda de água potável quanto o número de moradores podem ser variáveis. Esse volume é calculado por meio da Equação (1):

$$V_{res\ sup} = d \cdot n_{mor} \cdot \frac{P_{subst}}{100} \quad (1)$$

Onde:

$V_{res\ sup}$	volume do reservatório superior, definido pelo Netuno, em litros;
d	demanda de água per capita/dia, em litros;
n_{mor}	número de moradores da edificação;
P_{subst}	percentual da demanda total de água que pode ser suprida por água pluvial, em %.

- **Reservatório Inferior**

O *software* Netuno permite a entrada deste dado de duas formas distintas:

- a) Reservatório com volume definido;
- b) Reservatório não definido ou definido pelo Netuno, através da opção “Simulação para reservatórios com diversos volumes”.

Para as simulações utilizadas neste trabalho adota-se o volume do reservatório inferior definido pelo Netuno, pois dessa forma o programa apresenta os gráficos de potencial de economia, volume de água pluvial consumido, percentual de atendimento e volume de água pluvial extravasado em função do volume do reservatório inferior, possibilitando uma análise do comportamento de cada um desses parâmetros para os diversos tamanhos de reservatório.

3.2 Metodologia

3.2.1 Análise dos diferentes dados de precipitação

Inicialmente são analisadas as séries temporais de precipitação para a cidade de Itajubá – MG dos dados do GPCC e do GPCP. Essa análise é feita através da série completa e da série climatológica dessas fontes de dados para os períodos de disponibilização de ambas: 1979-2010 para os dados do GPCC e 1979-2014 para os dados do GPCP. A análise da série completa permite verificar aspectos da variabilidade sazonal e interanual dos dados, assim como de possíveis valores extremos na série que podem impactar o estudo. O ciclo anual climatológico desses dados é calculado. Assim, juntamente com a análise da etapa anterior, essa etapa é importante para decidir qual ponto de grade dos dados do GPCP é mais representativo para Itajubá.

Em seguida, esses dados são comparados com a série de precipitação da PCD e da ANA, principalmente, no que se refere à magnitude dos valores de precipitação e respectivos ciclos anuais. Nesse caso, espera-se que os dados observados sejam mais representativos da precipitação quando comparados a dados provenientes de modelos atmosféricos. Assim, essa comparação tem como base a escolha dos dados de precipitação que será utilizado como dado de entrada do Netuno.

Além da comparação entre as séries, simulações testes também são feitas com o software Netuno com as três séries (modelo, PCD e ANA) para o ano de 2003 e para a climatologia no período de 1998 a 2014, por ser um período comum entre elas, para verificar se há muitas diferenças entre os mesmos. Nesta simulação teste, todos os outros dados (demanda, número de moradores, coeficiente de escoamento, descarte inicial, percentual da demanda a ser substituída e dimensão dos reservatórios) são mantidos fixos, variando-se somente os dados de precipitação, para que variações nas simulações em função dos dados de precipitação possam ser notadas e, assim, para que a série mais representativa seja escolhida. Após a simulação inicial para a escolha da série, são realizadas as simulações para os diversos cenários para a cidade de Itajubá mantendo-se fixos os dados de precipitação e a demanda diária e variando o número de moradores, coeficiente de escoamento e área de captação (conforme Quadro 8).

3.2.2 Caracterização das variáveis para obtenção do volume ideal do reservatório e estimativa do potencial de economia de água potável

Existem vários métodos para o dimensionamento de reservatórios de água pluvial em edificações apresentados na NBR 15527/07. São eles: Método de Rippl; de Azevedo Neto; Prático Alemão; Prático Inglês e Prático Australiano. Um dos métodos já existentes para o dimensionamento do volume de reservatórios e que é utilizado nesse trabalho, é o que está implementado no software Netuno (GHISI; CORDOVA; ROCHA, 2009), validado por Rocha (2009), que é um programa desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE/UFSC), disponível no sítio <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/netuno>>, e tem por objetivo determinar o potencial de economia de água potável em função da capacidade do reservatório, através do aproveitamento de água pluvial para uso não potável.

O Netuno realiza os cálculos em base diária considerando a demanda e a disponibilidade de água pluvial e os resultados são apresentados em base diária e mensal, a fim de facilitar a análise de comportamentos sazonais do sistema de captação de águas pluviais. De acordo com Rupp, Munarim e Ghisi (2011), o programa Netuno gera gráficos que possibilitam analisar comparativamente o potencial de economia para diferentes volumes de reservatórios, e trata-se do único método cujo dimensionamento ajustou-se

de modo mais racional quando comparado aos demais métodos existentes na NBR 15527/07, em função da demanda de água pluvial de todos os casos e dos regimes de precipitação. O Netuno também realiza análises econômicas para o sistema simulado, podendo-se obter estimativas dos custos e economias envolvidos.

Duarte, Blanco e Cardoso (2016), assim como Rupp, Munarim e Ghisi (2011), realizaram um estudo comparativo dos métodos sugeridos pela NBR 15527/07 e o método utilizado pelo software Netuno (GHISI; CORDOVA; ROCHA, 2009) para o dimensionamento do volume do reservatório de armazenamento de água pluvial, demonstrando que o método utilizado no software apresenta os resultados mais satisfatórios, mesmo para diferentes regimes de chuva, percentuais de substituição de água bem como uma grande variedade de áreas de captação.

As variáveis de entrada para o software Netuno são obtidas conforme a seção 3.1.2. Para os dados observados e para a cidade escolhida, o dimensionamento do reservatório de água pluvial é realizado para diversos cenários diferentes, variando-se o tipo de superfície de captação, a área de captação, a porcentagem de substituição de água potável por pluvial e o número de moradores. Dessa forma, as simulações são feitas de acordo com as seguintes características:

- Descarte inicial de 2 mm para telhado convencional e 0 mm para cobertura verde;
- Área de captação de 100m² e 150m²;
- Demanda diária de água potável de 166,3 litros per capita (valor fixo);
- Número de moradores: 2 e 4;
- Porcentagem de substituição de água potável por pluvial de 50%;
- Tipo de superfície de captação: convencional (cerâmico, fibrocimento e metálico) e cobertura verde, que influencia diretamente no coeficiente de escoamento.

As combinações entre as variações simuladas estão apresentadas no Quadro 8.

Quadro 8: Cenários para o dimensionamento dos reservatórios.

N.	Descarte Inicial (mm)	Área de Captação (m ²)	Demanda total de água (litro per capita/dia)	Número de Moradores	Substituição de água potável por pluvial (%)	Coefficiente de escoamento
1	2	100	166,3	2	50	0,9
2				4		
3		2				
4		4				
5	0	100	166,3	2	50	0,27
6				4		
7		2				
8		4				
		150				

3.2.2.1 Simulação para reservatório com volume conhecido

O campo com o valor máximo para o reservatório inferior deve ser preenchido pelo usuário e o programa calcula os seguintes valores médios para o período de análise:

- Potencial de economia de água potável por meio do uso de água pluvial;
- Percentual de dias em que a demanda de água pluvial é atendida completamente;
- Percentual de dias em que a demanda de água pluvial é atendida parcialmente;
- Percentual de dias em que a demanda de água pluvial não é atendida.

3.2.2.2 Simulação para reservatórios com diversos volumes

Esta forma de seleção de reservatório é a adotada neste trabalho, pois um dos objetivos era de se obter uma curva das variáveis em função do tamanho do reservatório.

Para realizar a simulação, deve-se definir o “Volume máximo (litros)” da simulação e o “Intervalo entre volumes (litros)”. Por exemplo, se o volume máximo for 10.000 litros, e o intervalo for 250 litros, serão feitas simulações para 0, 250, 500, ... 9.750 e 10.000 litros. Para se determinar o volume ideal do reservatório inferior, o resultado da simulação será um gráfico de potencial de economia de água potável por meio do uso de água pluvial em função dos diversos volumes do reservatório inferior.

Além do gráfico de potencial de abastecimento por água pluvial, também podem ser gerados gráficos de consumo de água pluvial, volume extravasado e atendimento da demanda de água pluvial. Todos os resultados da simulação podem ser visualizados em uma planilha de dados. Esta planilha também pode ser exportada em formato CSV.

4 RESULTADOS

4.1 Comparação entre os dados de precipitação

A cidade de Itajubá, localizada no Estado de Minas Gerais, apresenta precipitação acumulada anual média de 1707 mm de acordo com os dados do GPCC utilizados neste trabalho, sendo sua precipitação mensal mostrada na Figura 21 que ilustra o total mensal de precipitação do GPCC para o período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010.

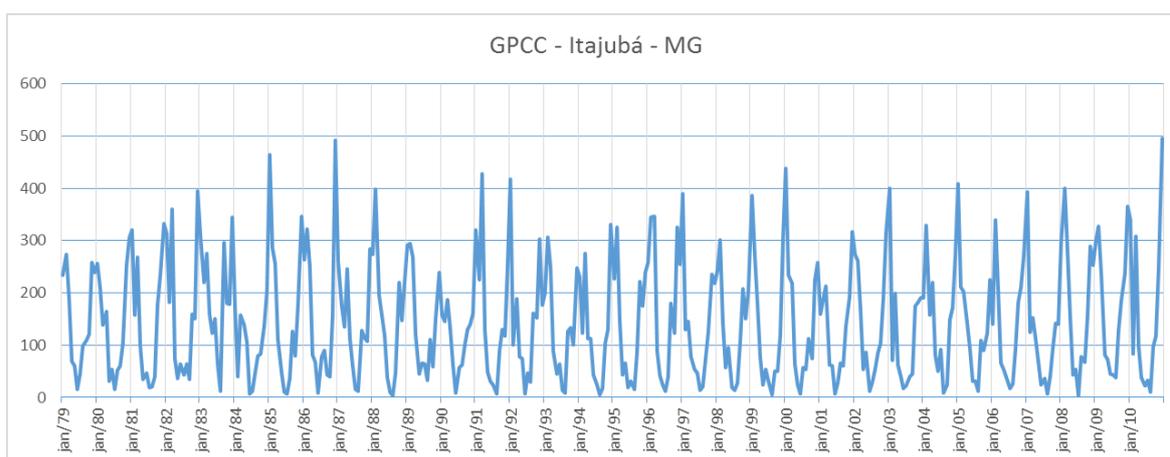


Figura 21: Total mensal de precipitação (mm) do GPCC do ponto de grade próximo à cidade de Itajubá no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010.

Assim, é possível perceber que os maiores valores de precipitação ocorrem no verão e os menores valores ocorrem no inverno, o que é consistente com a característica de verão chuvoso e inverno seco, ou seja, esse resultado confirma o ciclo anual bem definido de precipitação da região (KOUSKY, 1988; HOREL *et al.*, 1989; RAO *et al.*, 1996; MARENGO *et al.*, 2001; GAN *et al.*, 2004; VERA *et al.*, 2006; GARCIA e KAYANO, 2009; 2011; 2013; 2015; SANTOS e GARCIA, 2016; GARCIA *et al.*, 2016a; 2016b). Quanto à variabilidade interanual, pode-se observar que em alguns anos o valor de precipitação foi maior, como, por exemplo, os anos de 1983, de 1996 e de 2008. Como anos menos chuvosos, pode-se destacar os anos de 1984, 1990 e 2007, conforme apresentado na Figura 22.

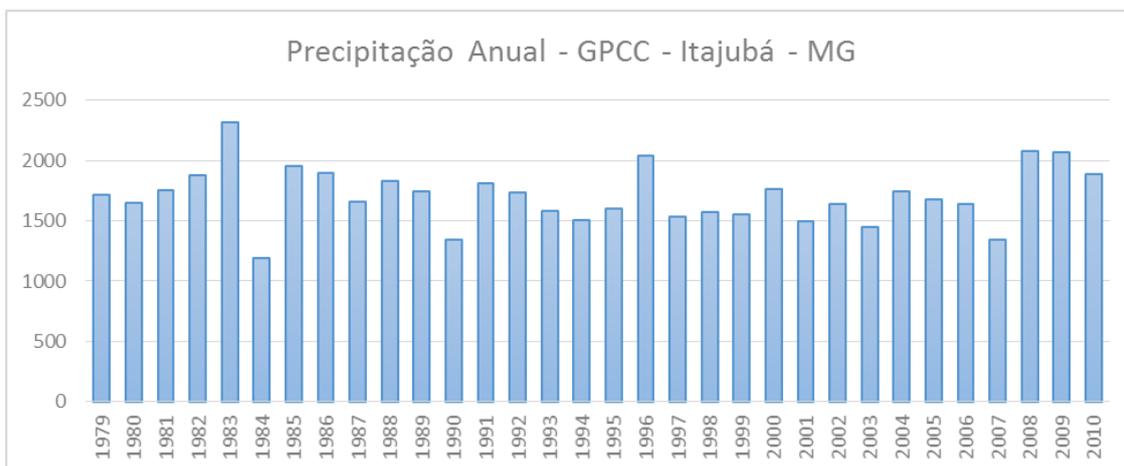


Figura 22: Total anual de precipitação (mm) do GPCC do ponto de grade próximo à cidade de Itajubá de 1979 a 2010.

A Figura 23 representa valores da taxa média mensal de precipitação dos dados do GPCP. Como os dados foram multiplicados por 30, têm-se os totais mensais de precipitação em mm. O período é de janeiro de 1979 a dezembro de 2014, para os pontos de latitude $23,75^\circ$ e $21,25^\circ$. Pode-se notar que a diferença entre os dois pontos de grade é muito pequena, sendo que a mesma pode ser notada na magnitude de alguns meses, o que justifica as diferenças observadas na Figura 24, que ilustra os valores de acumulados anuais de precipitação em ambos os pontos de grade. Quanto à variabilidade interanual, observa-se que os anos mais (menos) chuvosos na região foram 1983, 1996 e 2008 (1984, 2007 e 2014), independente do ponto de grade.

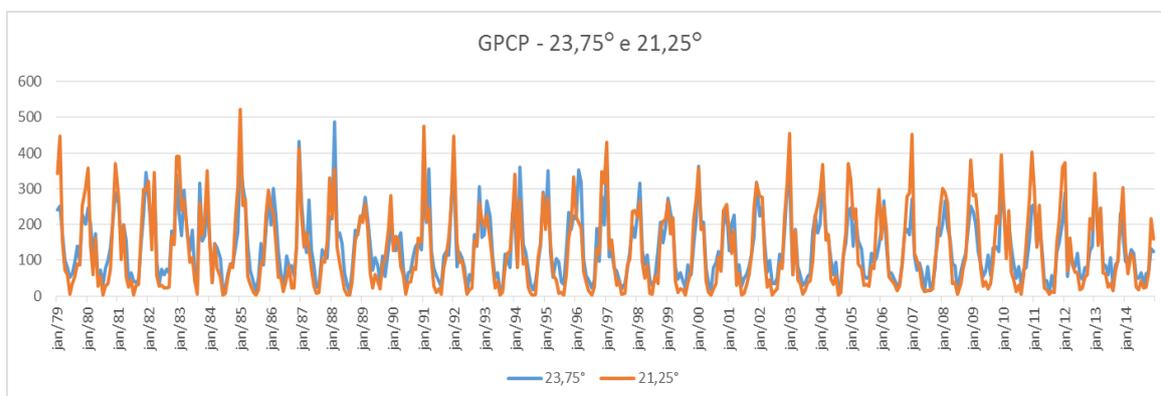


Figura 23: Total mensal de precipitação (mm) nos dois pontos de grade próximos à cidade de Itajubá ($23,75^\circ\text{S}$ em azul e $21,25^\circ\text{S}$ em laranja) no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014 dos dados do GPCP.

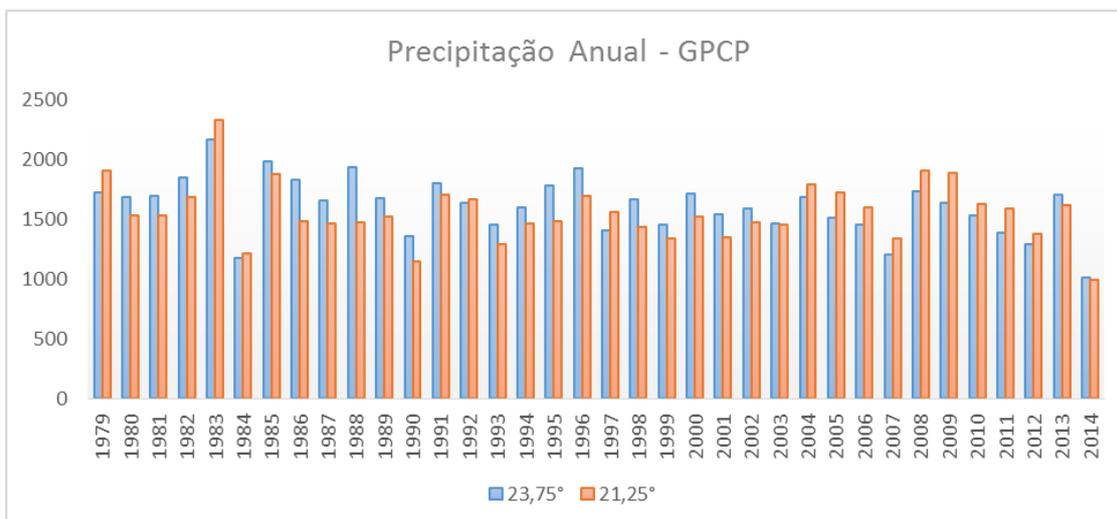


Figura 24: Acumulado anual de precipitação (mm) nos dois pontos de grade próximos à cidade de Itajubá (23,75°S em azul e 21,25°S em laranja) no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014 dos dados do GPCP.

4.1.1 Análise do ciclo anual de precipitação

A Figura 25 ilustra o ciclo anual climatológico da precipitação do período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010 para a cidade de Itajubá dos dados do GPCC. Assim como já pôde ser visto na Figura 21, tem-se nessa figura a confirmação do ciclo anual bem definido de precipitação da região, com o verão chuvoso, com valor médio de 794,70 mm, enquanto o inverno, com menores valores de precipitação, possui valor médio de 100,03 mm. As estações de transição, primavera (setembro, outubro e novembro) e outono (março, abril e maio) possuem valores de precipitação referente ao período de início (fim) da estação chuvosa na região, possuindo valores médios de 405,96 mm e 397,30 mm, respectivamente.

Assim como para a Figura 25, tem-se que a Figura 26 mostra uma comparação entre as médias mensais de precipitação no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014 para as latitudes 23,75°S e 21,25°S, apresentando que, como esperado, ambas seguem o mesmo comportamento de invernos secos e verões chuvosos. Na latitude 23,75°S, o valor médio apresentado para o verão é de 676,91 mm, enquanto o inverno, com menores valores de precipitação, possui valor médio de 152,1 mm. As estações de transição também possuem valores de precipitação referentes ao período de início (fim) da estação chuvosa na região, sendo valores médios de 386,86 mm e 393,96 mm para primavera (setembro, outubro e novembro) e outono (março, abril e maio), respectivamente. Para a série referente à latitude 21,25°S tem-se que os valores médios

apresentados para o verão são de 776,87 mm, já a média do período para o inverno é de 66,38 mm, primavera com média de 394,97 mm e outono 314,04 mm.

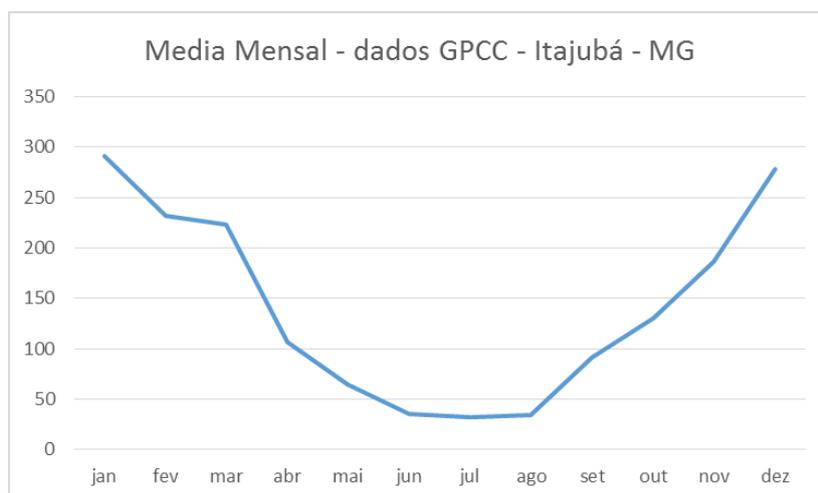


Figura 25: Ciclo anual climatológico de precipitação (mm) do período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010 em mm para a cidade de Itajubá dos dados do GPCC.

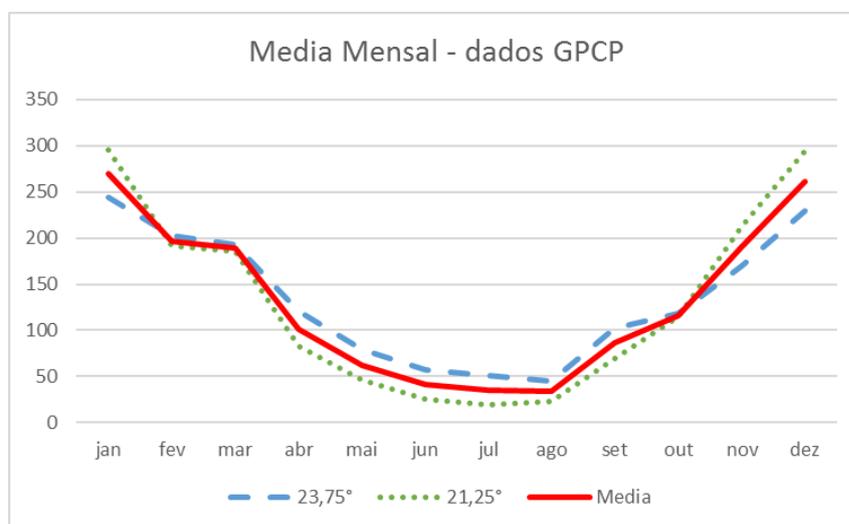


Figura 26: Ciclo anual médio de precipitação (mm) do período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014 nos dois pontos de grade próximos à cidade de Itajubá (23,75°S em azul e 21,25°S em verde) dos dados do GPCP. A média entre as duas séries está em vermelho.

Como Itajubá está no centro desses dois pontos de grade e os valores de precipitação são bem próximos, calculou-se a média do ciclo anual climatológico dos dois pontos de grade da Figura 26, que também mostra essa série média entre os dois pontos de grade e pode-se notar através da mesma que existe bastante similaridade com os dados do ponto 22,5°S do GPCC apresentado na Figura 25, pois são numericamente próximos. No que se refere aos valores correspondentes para a precipitação média das estações

verão, inverno, primavera e outono, tem-se que os mesmos são de 726,89 mm, 109,24 mm, 390,92 mm e 354,01 mm, respectivamente.

4.1.2 Análise das anomalias

Para destacar aspectos da variabilidade interanual da precipitação na região, a Figura 27 ilustra a série de anomalias mensais de precipitação dos dados do GPCC. Assim, podem-se perceber valores oscilando entre extremos positivos e negativos, que coincidem historicamente com épocas de muita e pouca chuva na cidade, respectivamente. Para facilitar a análise e a amostragem dos eventos, na Figura 28 tem-se os valores de anomalias do GPCC ordenados do maior valor para o menor valor. O maior valor de anomalia de precipitação ocorreu em dezembro de 2010 e o valor da quarta menor anomalia de precipitação ocorreu em fevereiro de 2010, o que mostra que o ano de 2010 foi um ano com comportamento bastante anômalo no que se refere à precipitação. Pode-se inferir que o ano de 1984 foi seco na região, já que esse ano aparece com dois valores entre os 10 menores valores de anomalias, sendo o mês de fevereiro de 1984 como ponto de menor valor. Os valores destacados em vermelho correspondem aos valores maiores que o percentil 99, que é numericamente igual a 178,77mm, enquanto os valores destacados em azul correspondem aos que são menores do que o percentil 1, que é numericamente igual a -140,36mm.

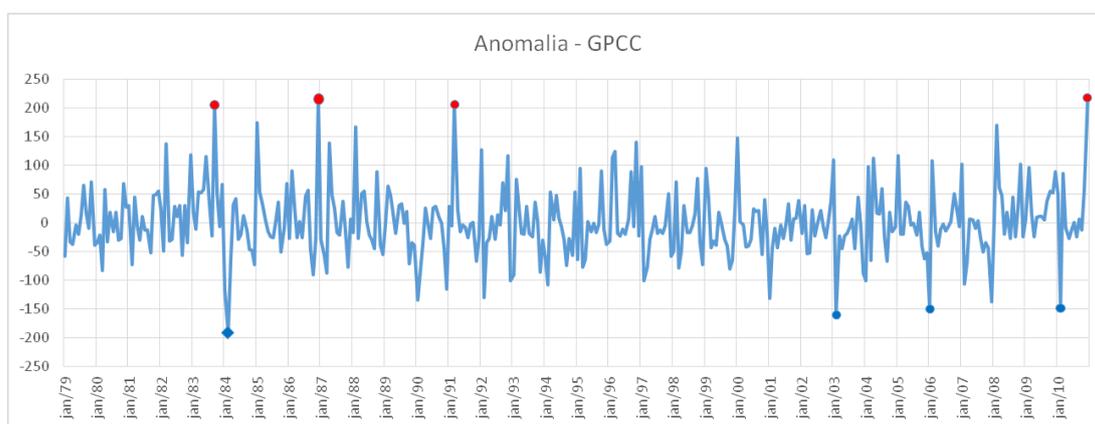


Figura 27: Anomalias mensais de precipitação (mm) dos dados do GPCC no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010.

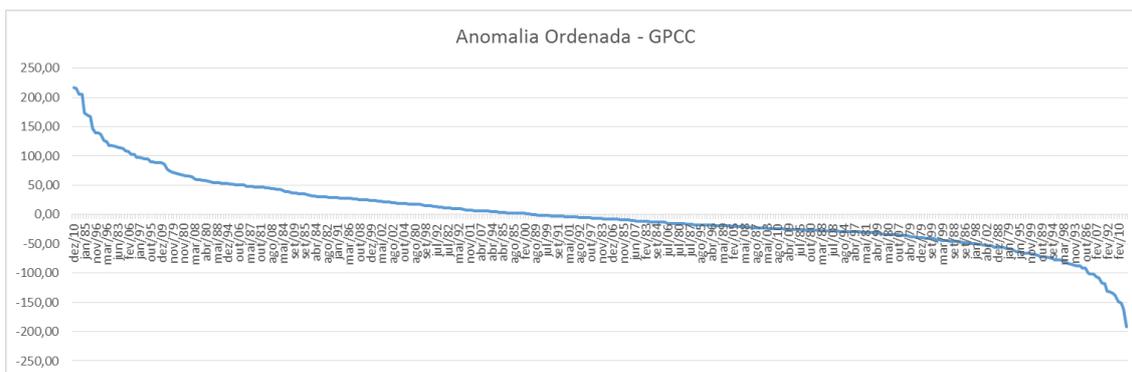


Figura 28: Anomalias mensais (mm) ordenadas dos dados de precipitação do GPCP no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2010.

As Figura 29 e 30 ilustram as séries de anomalias mensais de precipitação do GPCP para os pontos de grade 23,75°S e 21,25°S, respectivamente. Na Figura 31 está o gráfico da série correspondente a anomalia considerando a média entre os pontos de grade 23,75° e 21,25° do GPCP. Vale destacar que os extremos de chuva observados na latitude 23,75°S são coerentes aos extremos do ponto 21,25°S, sendo a maioria deles observados nos mesmos tempos. Os valores destacados em vermelho correspondem aos que são maiores que o percentil 99, que é numericamente igual a 155,60 mm, 173,00 mm e 159,28 mm, respectivamente, para as séries da média, da latitude 21,25°S e da latitude 23,75°S. Os valores destacados em azul correspondem aos que são menores do que o percentil 1, que é numericamente igual a -130,13 mm, -137,57 mm e -120,94 mm, respectivamente, para as séries média, da latitude 21,25°S e da latitude 23,75°S.

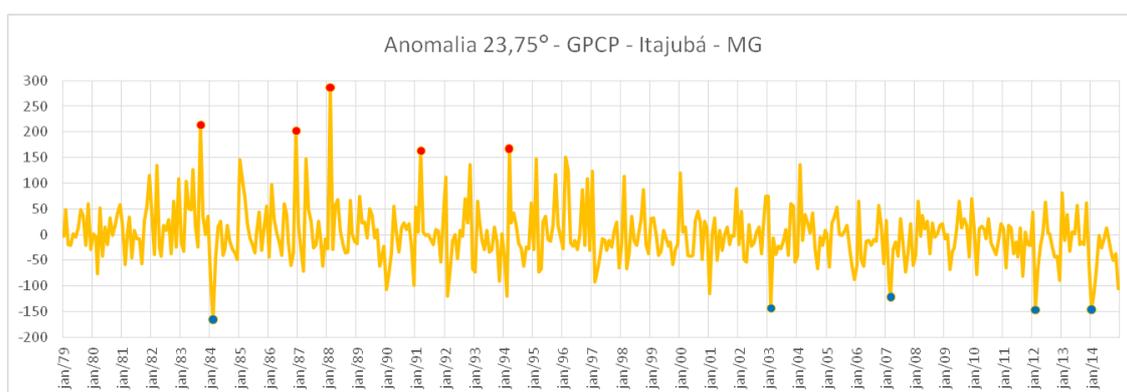


Figura 29: Anomalias mensais de precipitação (mm) do ponto de 23,75°S do GPCP no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014.

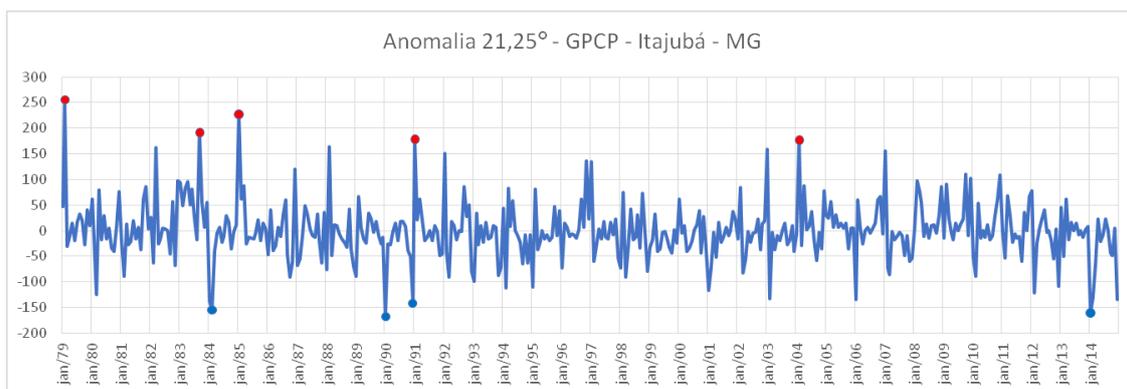


Figura 30: Anomalias mensais de precipitação em mm, do ponto de 21,25°S do GPCP no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014.

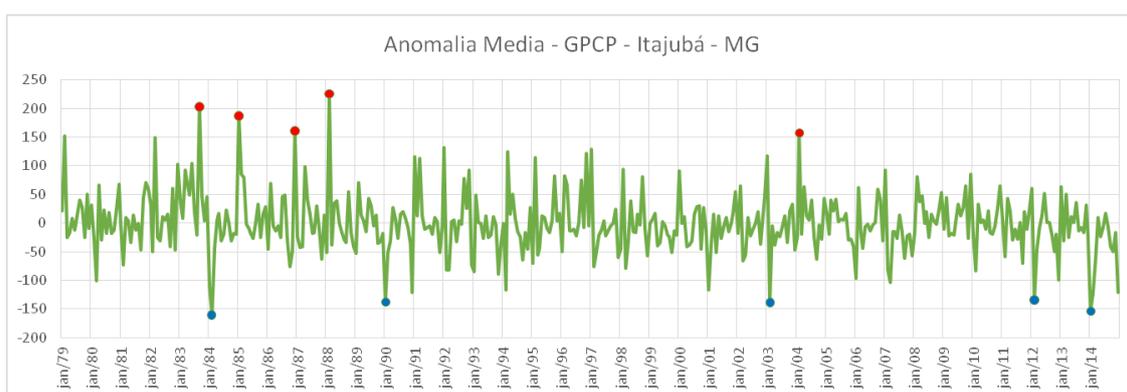


Figura 31: Média das anomalias mensais de precipitação (mm) do GPCP dos dois pontos de grade no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014.

Para facilitar a análise dos pontos extremos dos valores da anomalia média para os pontos de grade 23,75°S e 21,25°S do GPCP referente ao período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014, os dados foram ordenados e estão apresentados na Figura 32 do valor extremo máximo de anomalia de precipitação para o valor extremo mínimo. Conforme já apresentado, tem-se que no ano de 2014 o sudeste brasileiro sofreu com uma grande seca, mostrado pela presença dos meses de janeiro, fevereiro e dezembro entre os 7 pontos de extremos negativos da anomalia. Semelhante ao que ocorreu com os dados do GPCC, os meses de fevereiro e janeiro de 1984 aparecem como extremos negativos na série de anomalias, mostrando que este também foi um ano de grande anomalia negativa de precipitação na região.

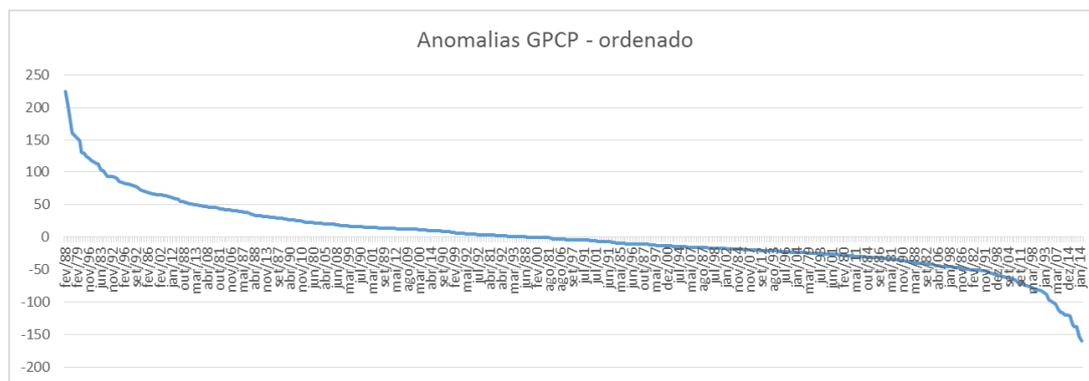


Figura 32: Anomalias ordenadas (mm) dos dados de precipitação do GPCP no período de janeiro de 1979 a dezembro de 2014.

4.1.3 Resumo da comparação

Assim, comparando os dados do GPCC e do GPCP pode-se concluir que a média entre os dois pontos de grade do GPCP é o que melhor corresponde se comparado com os dados do GPCC, pois apresenta os valores numéricos mais próximos conforme mostrado no Quadro 9, e o comportamento mais semelhante mostrado na Figura 33.

Quadro 9: Valores de precipitação por estação.

Estação do ano	GPCC 22,5°S	GPCP 23,75°S	GPCP 21,25°S	GPCP média
Verão DJF	794,70mm	676,91mm	776,87mm	726,89mm
Inverno JJA	100,03mm	152,1mm	66,38mm	109,24mm
Primavera SON	405,96mm	386,86mm	394,97mm	390,92mm
Outono MAM	397,30mm	393,96mm	314,04mm	354,01mm

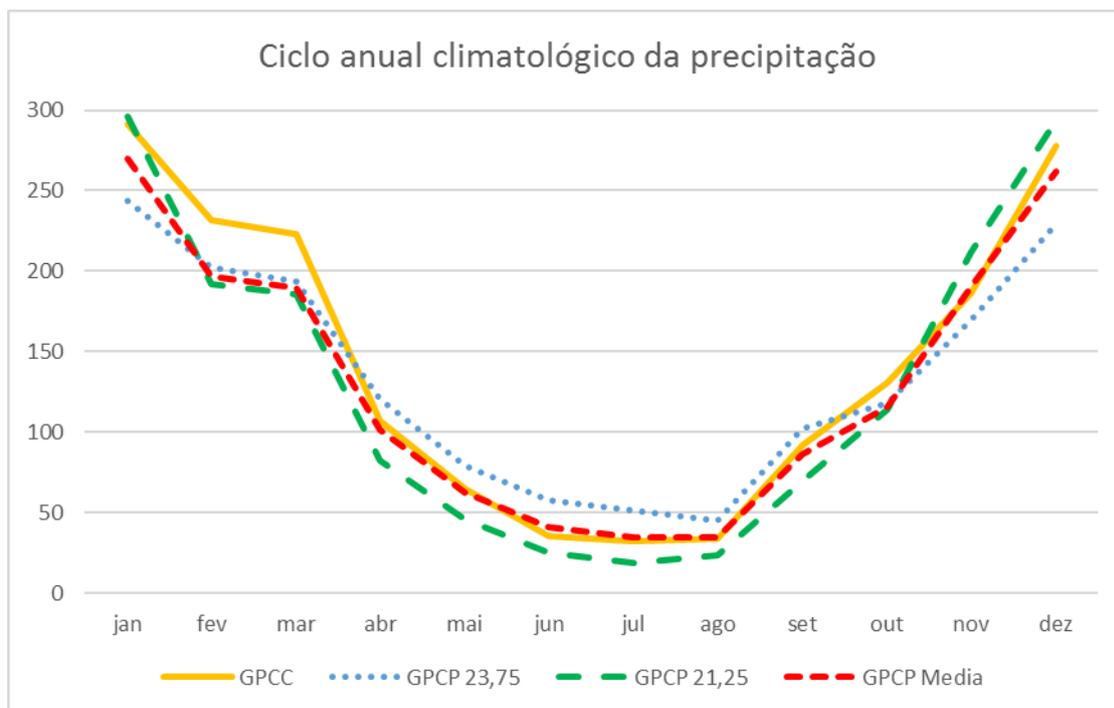


Figura 33: Comparação do ciclo anual de precipitação (mm) entre GPCC e GPCP.

Conforme apresentado nas Figura 27 a Figura 32 e numericamente no Quadro 10, as anomalias possuem os valores extremos negativos mais coincidentes, sendo que para os dois modelos, GPCC e GPCP o mês que apresentou o extremo negativo da anomalia foi fevereiro de 1984. Como o período de dados do GPCP engloba o ano de 2014 que conforme apresentado no texto foi um ano de anomalias negativas de precipitação, nos gráficos do GPCP, os meses de dezembro, janeiro e fevereiro deste ano aparecem como extremos negativos de anomalia. O comportamento apresentado no gráfico de anomalia para o modelo GPCC também é semelhante à anomalia da média dos dois pontos de grade do GPCP utilizados neste trabalho. Portanto pode-se utilizar a média dos dois pontos de grade 21,25°S e 23,75°S como uma aproximação do modelo GPCC.

Quadro 10: Valores numéricos extremos para a anomalia da precipitação.

Anomalia - Extremos positivos		Anomalia - Extremos negativos	
GPCC	GPCP média	GPCC	GPCP média
dez/10 - 216,79	fev/88 - 225,145	dez/07 - 138,59	fev/12 - 133,80
dez/86 - 214,69	set/83 - 202,65	fev/10 - 148,99	jan/90 - 137,47
mar/91 - 205,38	jan/85 - 186,679	jan/06 - 150,93	fev/03 - 138,30
set/83 - 204,83	dez/86 - 160,845	fev/03 - 160,65	jan/14 - 153,37
jan/85 - 173,43	fev/04 - 157,05	fev/84 - 192,25	fev/84 - 160,05

O modelo do GPCC possui um ponto de grade que está posicionado sobre as coordenadas da cidade de Itajubá, já no modelo do GPCP a coordenada de Itajubá está posicionada entre dois pontos de grade. A série do GPCP é mais longa e ficou comprovado a partir das análises da seção 4.1 que se pode aproximar os resultados do modelo do GPCC à média dos dois pontos de grade próximos as coordenadas no modelo do GPCP. Como as climatologias são muito parecidas e o GPCP possui um período maior, optou-se por utilizar a média entre os pontos de grade dessa fonte para fazer a comparação com os dados observados.

4.2 Comparação e simulação teste com as séries do GPCP, PCD e ANA

A Figura 34 mostra a climatologia das três fontes de dados (GPCP, PCD e ANA) para o ano de 2003, de janeiro a dezembro, tendo em vista que tal ano é o mais completo de toda a série da PCD, enquanto a Figura 35 ilustra o ciclo anual climatológico das três fontes de dados. Pode-se observar que, no ano de 2003, o comportamento entre as três diferentes fontes de dados é bastante similar, sendo que, em termos de magnitude, as séries do GPCP e da PCD são mais próximas no início do ano, enquanto que, no fim do ano, a série da ANA é mais próxima do GPCP. Quanto à climatologia, as séries da PCD e da ANA são mais próximas entre si em termos de magnitude. Embora a magnitude da série do GPCP seja ligeiramente maior, ou seja, há uma leve superestimativa da precipitação, o comportamento em relação aos meses do ano se mantém quando comparada às séries observadas.

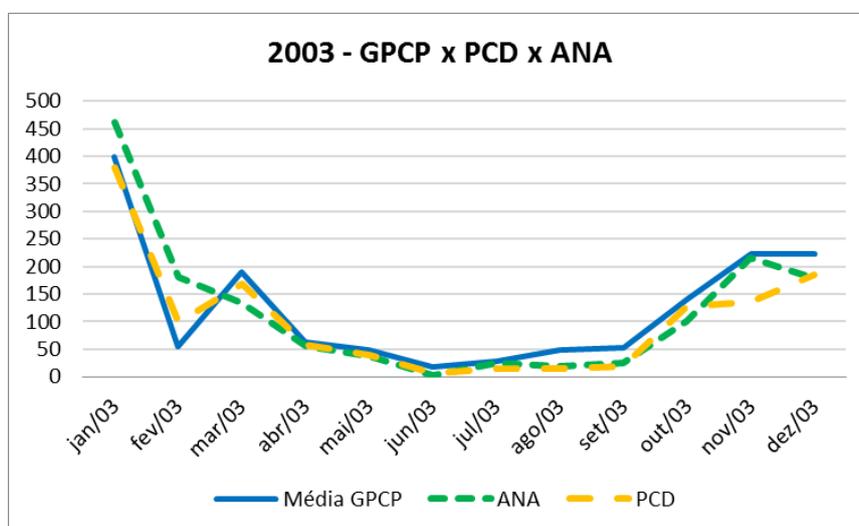


Figura 34: Dados de precipitação do GPCP, da PCD e da ANA para o ano de 2003.

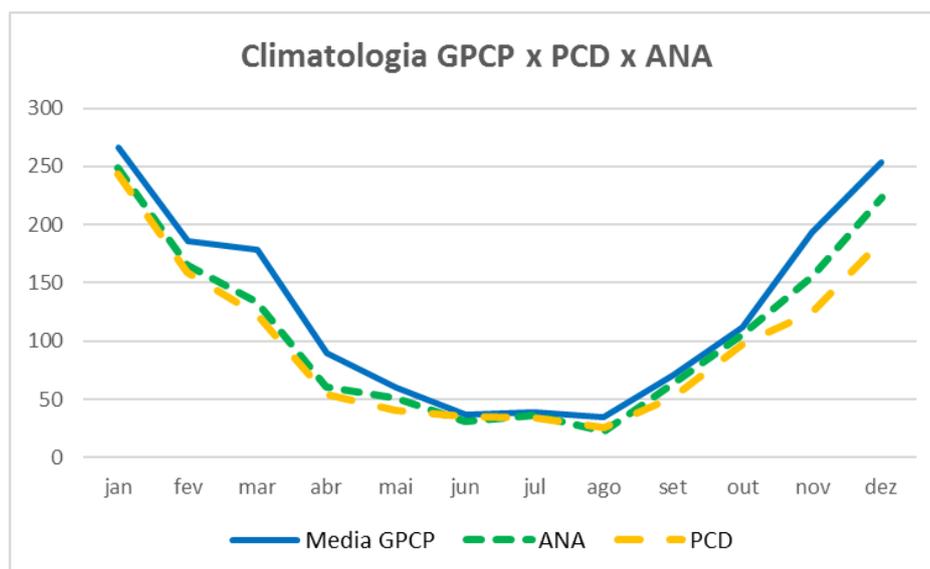


Figura 35: Climatologia mensal dos dados do GPCP, da PCD e da ANA, para o período de disponibilidade de cada fonte.

Em seguida, as três séries de precipitação são utilizadas na simulação do software Netuno para verificação e análise das diferenças das simulações nos três casos. Os valores utilizados para o preenchimento das variáveis de entrada do software para a simulação são os valores que representam uma residência típica da cidade de Itajubá. São eles: área de captação de 100 m², a demanda total de água de 166,3 litros per capita/dia, o número de moradores igual a 3, percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial de 50%, o coeficiente de escoamento superficial de 0,9 (telhas cerâmicas), um volume máximo de 20.000 litros, o intervalo entre os volumes de 250 litros e a diferença entre potenciais de economia de água potável por meio de aproveitamento de água pluvial igual a 1,5 %/m² utilizada para a indicação do volume ideal do reservatório inferior.

Utilizando essas variáveis juntamente com os dados do GPCP, da PCD e da ANA para o ano de 2003, têm-se, respectivamente, as saídas das simulações apresentadas nas Figura 36 a Figura 39. De acordo com Oliveira (2005), por meio do *software* Netuno é possível determinar o percentual de economia de água tratada, relativo ao consumo de água estimado para o aproveitamento de água pluvial (no setor residencial) para um dado volume do reservatório, em usos onde a água não necessita de tratamento. Assim, é possível testar a economia oferecida para diversos volumes de reservatório até se obter aquele que apresenta o maior percentual de economia com menor custo.

As simulações para as três diferentes séries são mostradas a seguir, e com as análises das seguintes características:

a) Potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório inferior (litros): Neste gráfico, o ponto preenchido em preto representa o volume ideal para o reservatório inferior, indicado pelo *software* baseado em um parâmetro escolhido que leva em consideração a variação percentual do potencial de economia. Um volume muito grande custa muito, um volume pequeno pode deixar muitas vezes por ano o reservatório seco. Então a escolha da capacidade correta do reservatório de água que irá atender as demandas dos moradores da residência garante a reserva adequada ao consumo e permite que haja a maior porcentagem possível de substituição da água tratada pela água pluvial.

b) Consumo de água pluvial (litros/dia) em função do volume do reservatório inferior (litros); O gráfico mostra quanto de água pluvial é possível consumir por dia de acordo com o tamanho do reservatório inferior adotado. O tamanho do reservatório deve suprir o consumo.

c) O percentual atendido, parcialmente atendido e não atendido em função do Volume do reservatório inferior (litros): Apresentam-se também, como resultado da simulação, os percentuais de números de dias do ano em que a água pluvial coletada atende completamente às necessidades diárias de água pluvial, atende parcialmente a essas necessidades; e não atende a essas necessidades diárias, ou seja, quando o reservatório de água pluvial encontra-se completamente vazio. Essas curvas, assim como a curva do potencial de economia de água potável, ajudam na decisão do volume a ser escolhido para o reservatório inferior.

d) Volume extravasado (litros/dia) em função do Volume do reservatório inferior (litros): O gráfico de volume extravasado representa a soma de toda água pluvial que não poderia ter sido aproveitada utilizando um sistema de captação de água da chuva com os parâmetros da simulação, considerando inclusive o descarte das águas iniciais, que servem para lavar a área de captação. É o volume de água pluvial não aproveitado ao longo do ano em função do volume do reservatório inferior (NETUNO, 2004).

Na Figura 36 pode-se notar que os potenciais de economia para as três séries tendem para um valor próximo de 40%, porém pelo fato do modelo GPCP superestimar um pouco a chuva, tem-se que o comportamento inicial é fortemente afetado, fazendo com que o volume ideal do reservatório inferior seja menor na série do GPCP do que para as outras séries que contém os dados observados. Numericamente os valores de reservatório obtidos para a série da PCD e da ANA foi de 2800 litros enquanto que para

a série do GPCP foi de 2000 litros, atingindo um potencial de economia de 32%, 32% e 30%, respectivamente.

Quanto ao consumo de água pluvial, através da análise da Figura 37, pode-se notar que todas as séries tendem a um valor próximo a 200 litros/dia, porém o comportamento inicial, para reservatórios inferiores com valores menores que 2.000 litros, é distinto para a série de dados do GPCP (Figura 37a), o que reflete na indicação do reservatório ideal. Para a série do GPCP ficou em 2.000 litros, possibilitando um consumo diário de água de chuva de 150 litros. Para as séries observadas, PCD e ANA (Figura 37b e 37c) respectivamente, o consumo diário fica em 160 litros.

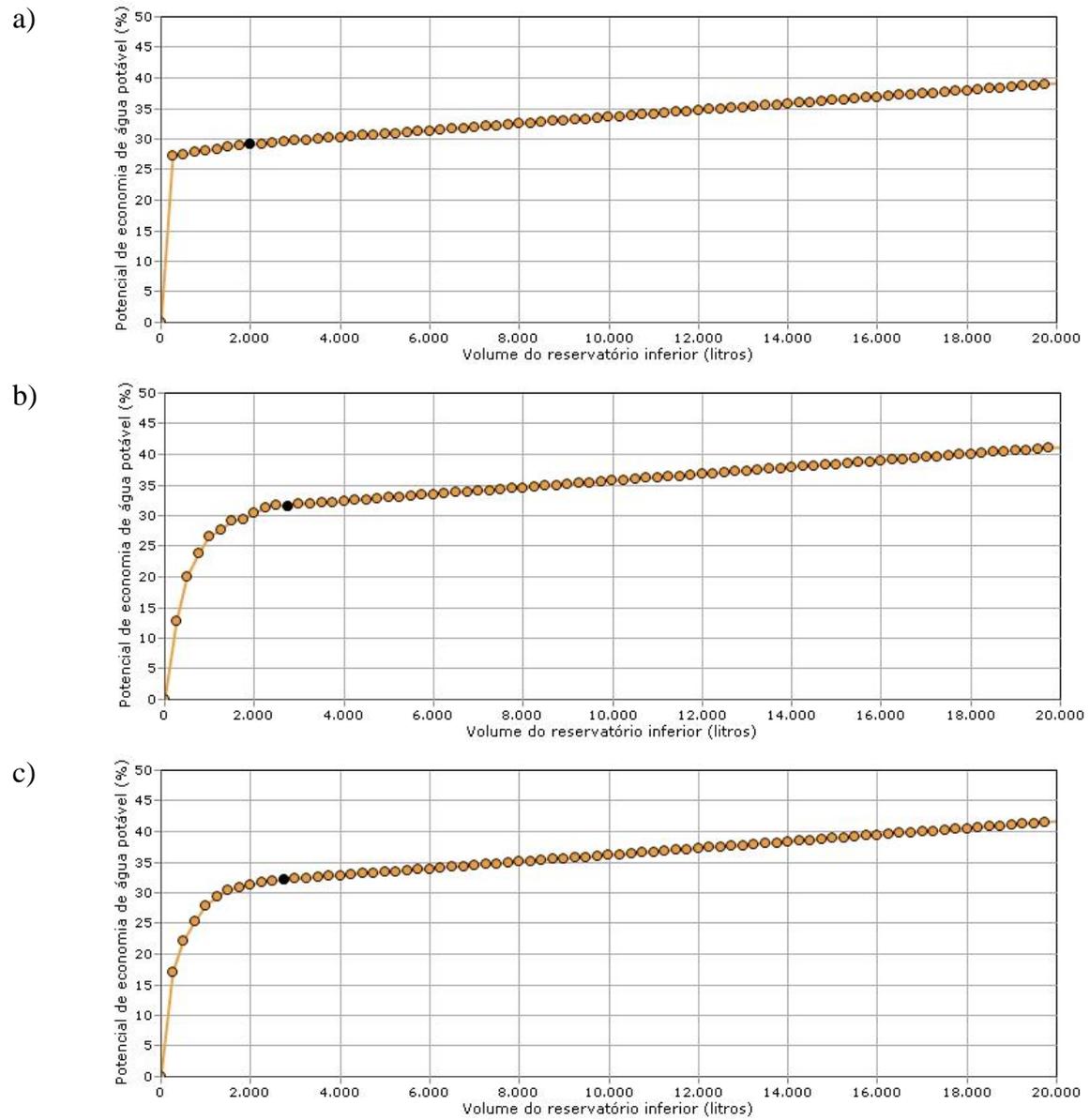


Figura 36: Potencial de Economia em função do tamanho do reservatório para o ano de 2003: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.

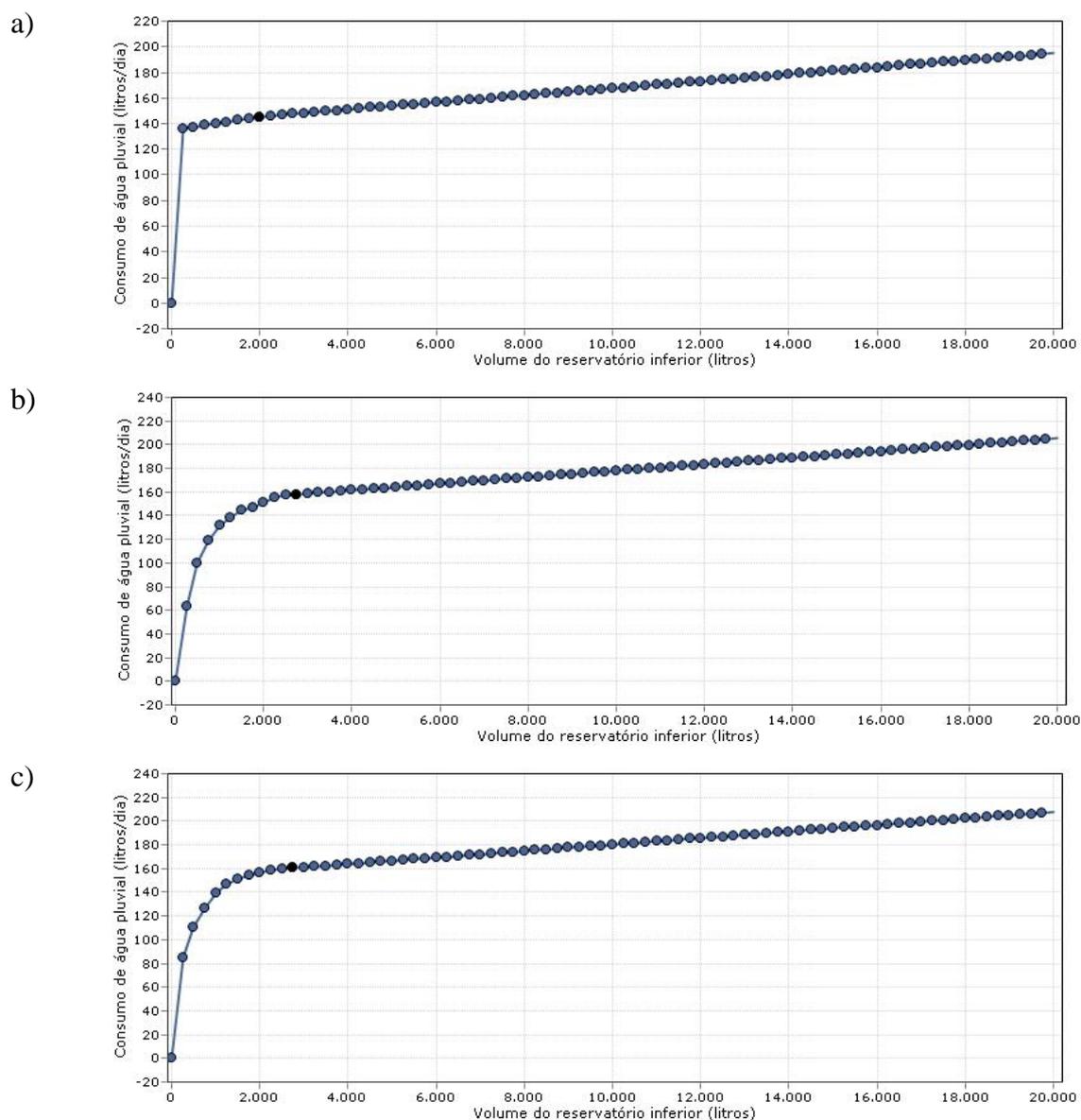


Figura 37: Consumo de água pluvial (litros/dia) em função do Volume do reservatório inferior (litros) para o ano de 2003: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.

Analisando os percentuais de atendimento exibidos na Figura 38, nota-se que para todas as séries tendem para os valores de 80% da demanda de água pluvial sendo completamente atendida e 20% da demanda parcialmente atendida. Para os reservatórios ideais indicados através da variação do potencial de economia menor que $1,5/m^3$ o percentual de atendimento total é de 60% para o GPCP, 62% para a PCD e 62% para a ANA, já o percentual de atendimento parcial é de 40%, 35% e 35% respectivamente. Para a série do GPCP o percentual de não atendimento é próximo de 0% para reservatórios inferiores com volume superior a 2.000 litros (Figura 38a). Para as séries observadas

(ANA e PCD) esse percentual de não atendimento utilizando o volume ideal de reservatório inferior indicado fica abaixo de 3% (Figuras 38b e 38c).

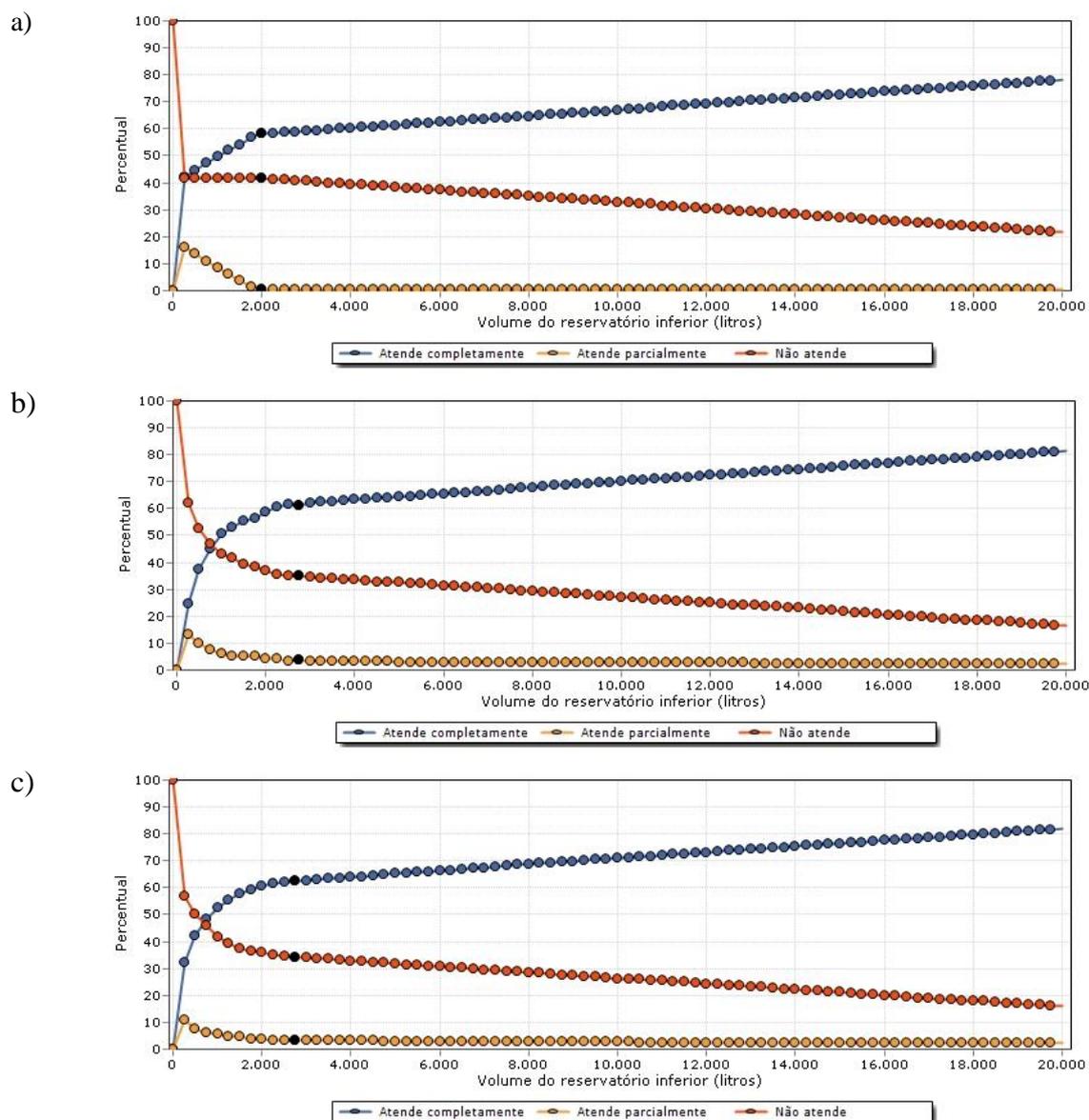


Figura 38: Percentual do atendimento de água pluvial em função do Volume do reservatório inferior (litros) para o ano de 2003: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.

Como para as demais variáveis analisadas nesta simulação, o volume de água pluvial extravasado exibido na Figura 39, também possui um comportamento inicial distinto para a série do GPCP devido a superestimativa dos valores de precipitação. Para o reservatório ideal de 2.000 litros a série do GPCP apresenta um volume extravasado de 160 litros/dia (Figura 39a). Para o reservatório inferior de 2.800 litros indicado para as

séries da PDC e da ANA, o volume extravasado é de 140 litros e 190 litros, respectivamente (Figuras 39b e 39c).

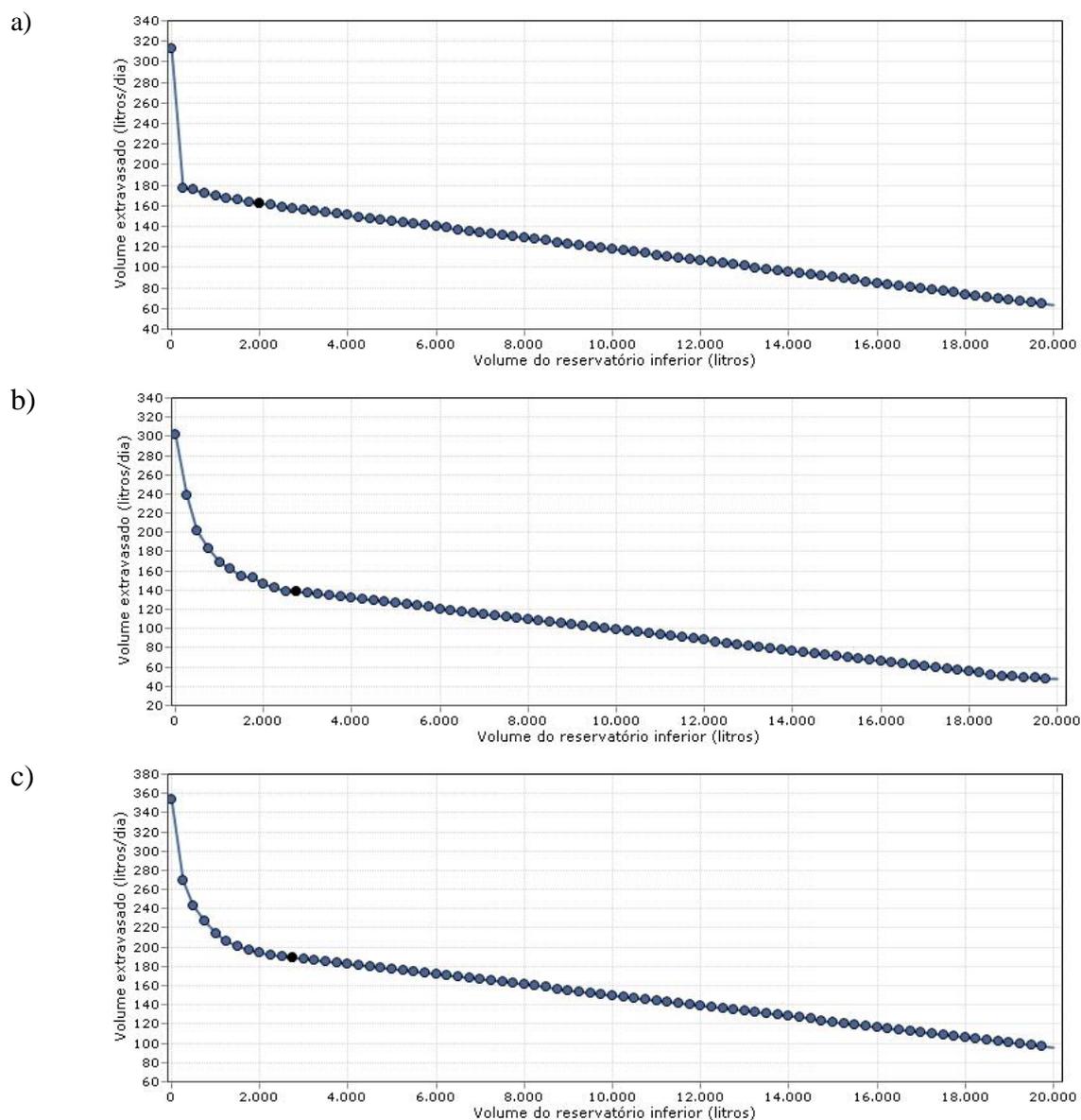


Figura 39: Volume extravasado (litros/dia) em função do Volume do reservatório inferior (litros) para o ano de 2003. a) dados do GPCP; b) dados da PDC e c) dados da ANA.

Logo, pode-se observar que os resultados das simulações testes realizadas para o ano de 2003 para as três diferentes fontes de dados, refletem o fato de a precipitação do GPCP ser levemente superestimada, enquanto que os resultados para PDC e ANA são bastante similares numericamente. Assim, as Figuras 40 a 43 apresentam os resultados das simulações realizadas com a climatologia das séries GPCP, PDC e ANA para o período de 1998 a 2014, que é o período comum entre elas. Novamente, as simulações

são realizadas com os mesmos dados de entrada do software Netuno, alterando-se apenas o período considerado para as séries de dados de chuva.

Considerando o período de janeiro de 1998 a dezembro de 2014, e mantendo-se os outros dados de entrada inalterados pode-se observar na Figura 40 que o potencial de economia das três séries apresenta valores de 45%, 40% e 44% para reservatórios inferiores a 20.000 litros, respectivamente para GPCP, PCD e ANA. Considerando o critério de variação no potencial de economia inferior a $1,5\%/m^3$, tem-se que os valores do Volume ideal do reservatório inferior foram bem diferentes, sendo de 750 litros, 6.000 litros e 5.750 litros para as séries do GPCP, da PCD e da ANA, respectivamente, possibilitando um potencial de economia de 33,97%, 32,71% e 35,82%.

O comportamento inicial do potencial de economia em função do tamanho do reservatório é fortemente influenciado pela distribuição da chuva diária das séries. Como a distribuição do GPCP ficou uniforme dentro de cada mês, tendo em vista que o valor mensal é dividido por 30, a variável já atinge valor de regime permanente mais rapidamente que as outras séries com dados diários observados. O formato da curva para os dados observados é bem semelhante, porém em magnitude a curva do GPCP fica mais próxima da série de dados da ANA.

As curvas de consumo de água pluvial apresentadas na Figura 41 seguem o mesmo comportamento da variável que indica o potencial de economia, sendo em formato a série da PCD e da ANA muito semelhantes, porém em magnitude a série da ANA aproxima-se mais da série do GPCP. Pode-se notar que todas as séries tendem a um valor próximo a 200 litros/dia, porém o comportamento inicial, para reservatórios inferiores com valores menores que 2.000 litros, é distinto para a série de dados do GPCP (Figura 41a), o que reflete na indicação do reservatório ideal. Para a série do GPCP ficou em 1.000 litros, possibilitando um consumo diário de água de chuva de 170 litros. Para as séries observadas, PCD e ANA (Figura 37b e 41c) respectivamente, o consumo diário fica em 160 litros e 170 litros, porém o reservatório ideal ficou acima de 5000 litros para ambas.

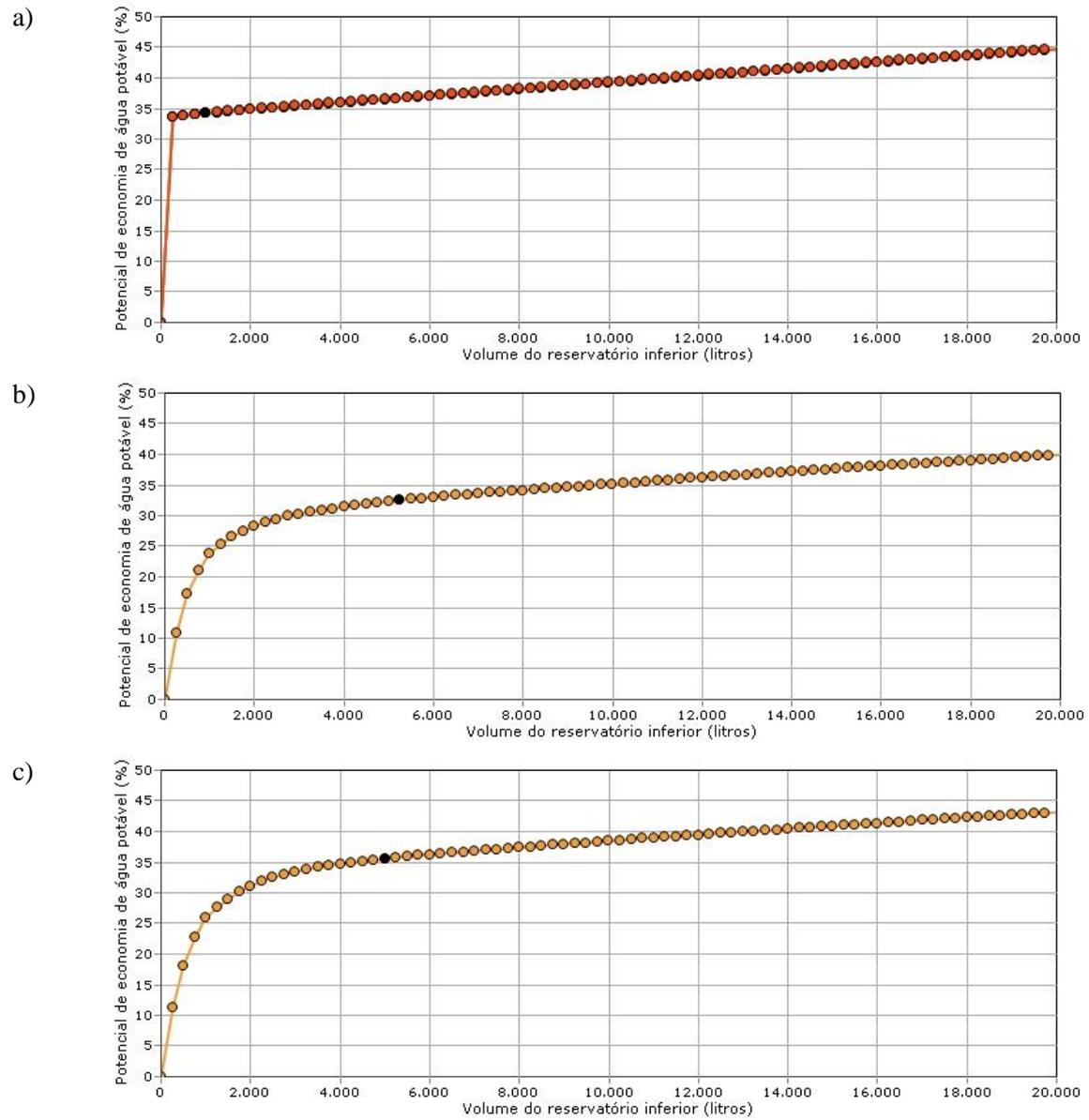


Figura 40: Potencial de Economia em função do tamanho do reservatório para: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.

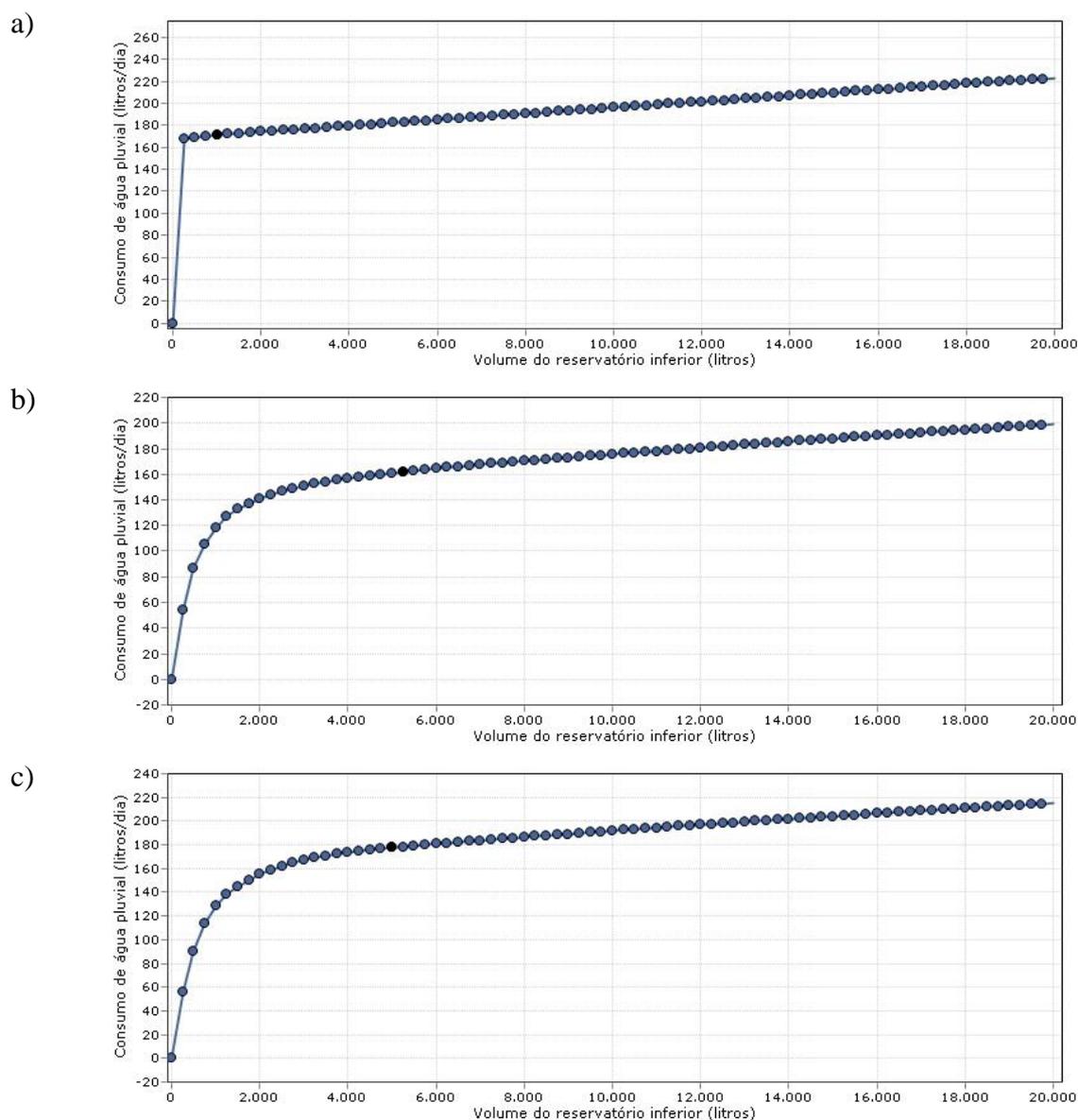


Figura 41: Consumo de água pluvial (litros/dia) em função do Volume do reservatório inferior (litros) para: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.

Quanto ao Percentual do atendimento de água pluvial em função do volume do reservatório inferior, tem-se que o do GPCP tende para um percentual de atendimento completo de 90% quando considerado um reservatório inferior de 20.000 litros. A parcela não atendida e fica próxima de 10% e o atendimento parcial tende a zero (Figura 42a). Para a série da PCD (Figura 42b) o percentual de atendimento completo atinge 80% considerando um reservatório de 20000 litros. A parcela não atendida se aproxima de 20% e o atendimento parcial também tende a zero. A série da ANA (Figura 42c) possibilita valores percentuais de 85%, 15% e 0% respectivamente para o atendimento

completo, o não atendimento e o atendimento parcial, considerando o reservatório de 20000 litros.

Para os reservatórios ideais indicados através da variação do potencial de economia menor que $1,5\%/m^3$ o percentual de atendimento total é de 60% para o GPCP, 63% para a PCD e 70% para a ANA, já o percentual de atendimento parcial é de 10%, 2% e 4% respectivamente. Para a série do GPCP o percentual de não atendimento é próximo de 30% para reservatórios inferiores com volume de 1.000 litros (Figura 42a). Para as séries observadas (ANA e PCD) esse percentual de não atendimento utilizando o volume ideal de reservatório inferior indicado fica em 35% e 26% respectivamente (Figuras 42b e 42c).

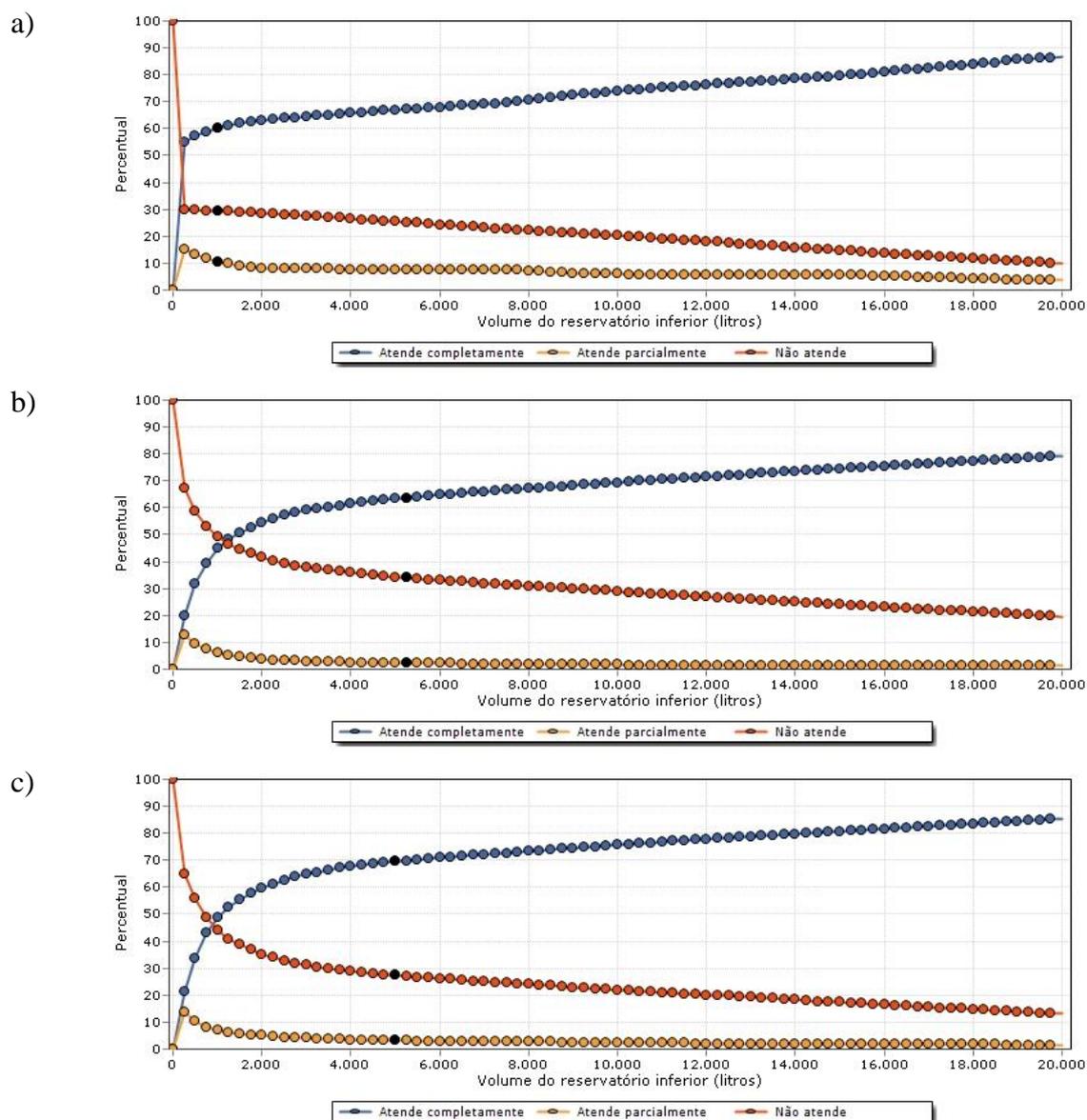


Figura 42: Percentual do atendimento de água pluvial em função do Volume do reservatório inferior (litros) para: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.

O volume extravasado em função da capacidade do reservatório inferior apresenta valores de 120 litros para a série do GPCP considerando um reservatório inferior de 20.000 litros (Figura 43a), 80 litros para os dados da PCD nas mesmas condições (Figura 43b) e próximo de 100 litros para a série da ANA (Figura 43c). O maior descarte na série correspondente ao modelo do GPCP indica uma superestimativa do volume de chuva, comparado com as outras séries que contém dados observados.

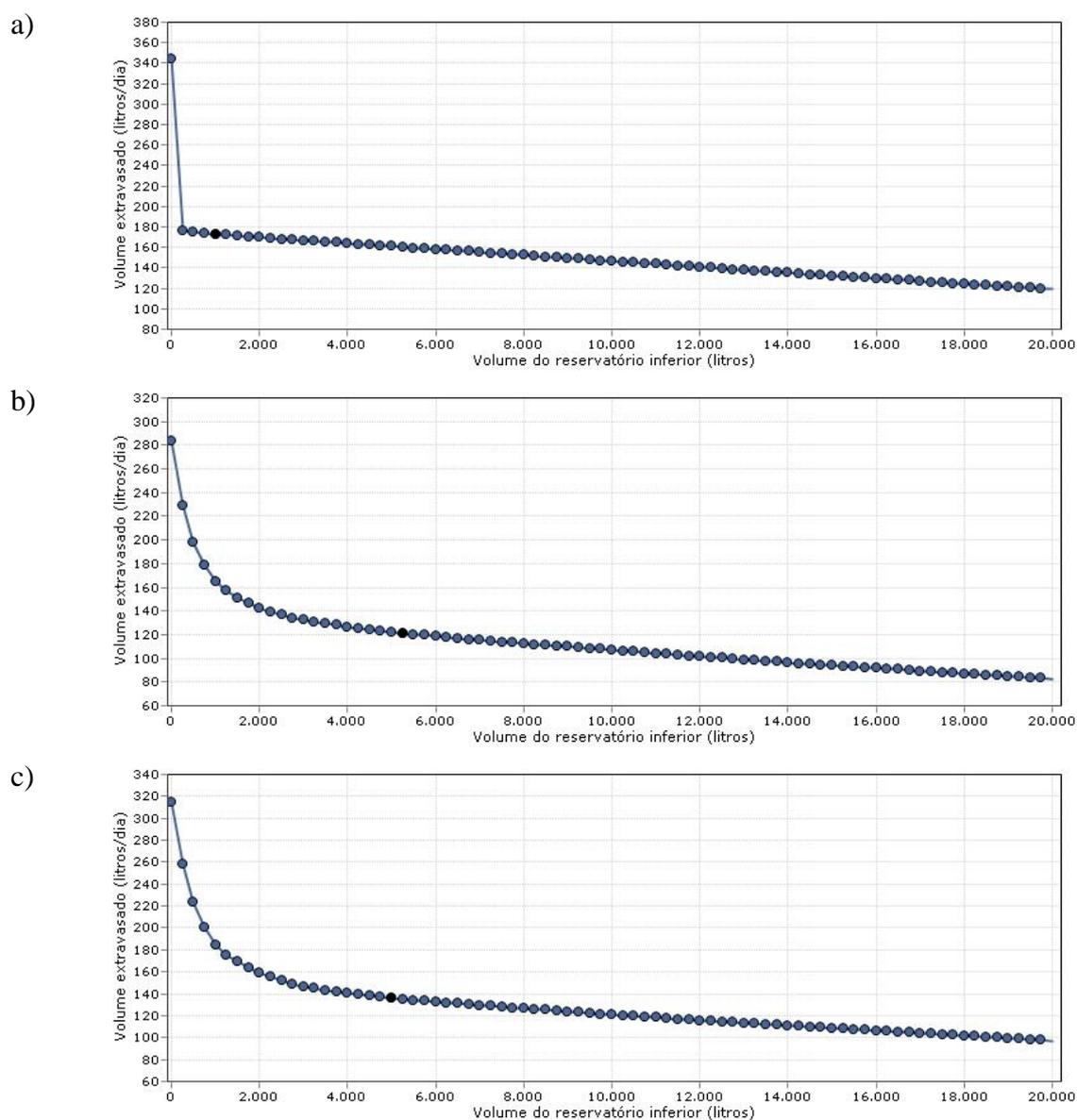


Figura 43: Volume extravasado (litros/dia) em função do Volume do reservatório inferior (litros) para: a) dados do GPCP; b) dados da PCD e c) dados da ANA.

Assim, através da análise dos resultados para as três diferentes series de precipitação para a cidade de Itajubá pode-se concluir que a série correspondente ao GPCP, além de superestimar os valores de precipitação, tem-se que, como a mesma é taxa

mensal, ao ser usada como dado de entrada diária do programa Netuno faz com que a precipitação seja uniforme em todos os dias do mês, o que impacta diretamente nos resultados. Embora os resultados para as séries observadas da PCD e da ANA apresentem um formato bem semelhante, para as quatro variáveis analisadas a série da ANA apresentou melhor desempenho, além do fato de a mesma ser uma série mais longa e mais completa, com menos falhas. Assim, frente a isso, a mesma será utilizada para as simulações dos diferentes cenários no software Netuno, variando-se agora os coeficientes de entrada do software e mantendo-se fixa a série dos dados pluviiais.

4.3 Simulações dos cenários

As simulações realizadas para os cenários em função dos volumes dos reservatórios têm como objetivo chegar à eficiência desejada para o sistema. Essa eficiência se dá através do encontro do ponto ótimo, onde haverá economia na implantação escolhendo um volume adequado de reservatório de acordo com a precipitação da região, minimizando seu volume ao máximo e, conseqüentemente, seu custo na implantação do sistema, e na sua utilização, pela economia feita com a substituição parcial da água tratada pela água pluvial, evitando seu desperdício.

O dimensionamento da capacidade do reservatório para armazenamento de água pluvial é o principal fator que influencia na confiabilidade do sistema, desempenhando um papel importante em evitar ocorrências em que a quantidade de água no reservatório é insuficiente para atender à demanda, sendo um ponto crítico na implantação do sistema por ser um dos itens mais caros impactando diretamente no tempo de retorno do investimento.

As simulações para os diferentes cenários montados no Quadro 8 são mostradas a seguir, com as análises das características: a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia), todas em função do volume do reservatório inferior. Conforme mostram os resultados para os cenários de estudo, pode-se escolher a capacidade do reservatório de água pluvial em função do respectivo potencial de economia de água potável. Neste trabalho, o volume ideal do reservatório no Netuno foi definido como aquele em que o potencial de economia de água potável aumentasse 1,5% ou menos, quando houvesse o aumento do volume do reservatório em 1.000 litros (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011).

Cenário 1:	Descarte Inicial (mm):	Área de Captação (m ²):	Demanda total de água (l per capita/dia):	Número de Moradores:	% substituição de água potável por pluvial:	Coefficiente de escoamento:
	2	100	166,3	2	50	0,9

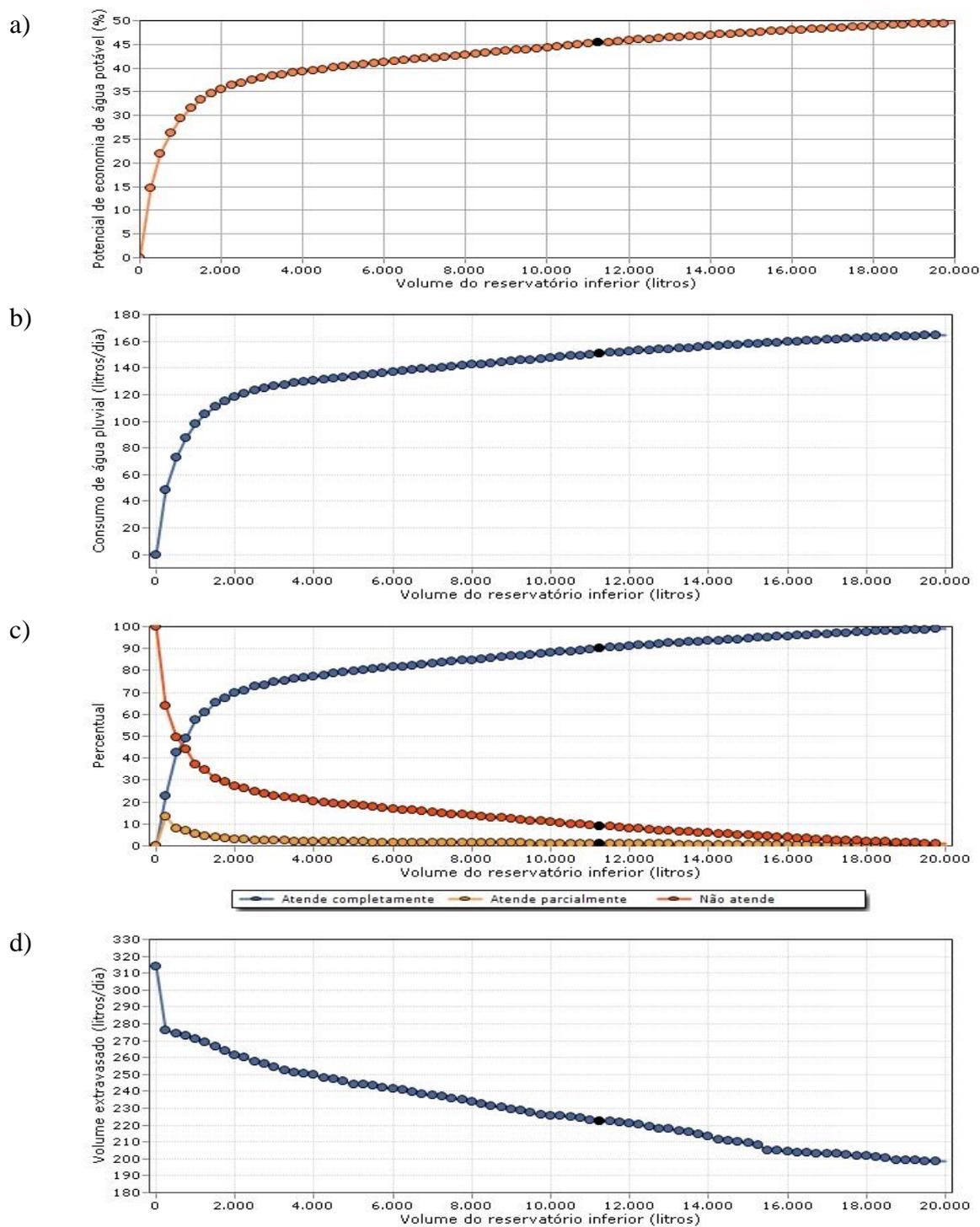


Figura 44: Cenário 1 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)

Para o Cenário 1, apresentado nos gráficos da Figura 44, adotando-se um reservatório com volume comercial de 15.000 litros para efeito de análise e comparação, é possível um potencial de economia de 47,46%, o que significa que ao longo do ano a demanda de água não potável dessa residência seja completamente atendida em 345 dias, parcialmente atendida em 3 dias (não tem disponível toda a água não potável necessária para esses dias, necessitando de complementação com água potável) e não atendida em 17 dias (uso somente de água tratada), possibilitando ainda um consumo médio de 158 litros/dia de água pluvial.

Caso fosse adotado um reservatório de 20.000 litros, o potencial de economia seria de 49,51%, o que significa que, para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessa residência seja completamente atendida em 361 dias, parcialmente atendida em 1 dia e não atendida em apenas 3 dias, permitindo o consumo de água não potável 165 litros/dia. Com o volume ideal indicado de 11.250 litros, o potencial de economia ficaria em 45,29%.

Os resultados apresentados para o Cenário 2 nos gráficos da Figura 45, mostram que com um aumento no número de moradores mantendo-se as outras variáveis inalteradas, o volume de precipitação para a cidade de Itajubá não consegue mais atingir a totalidade do potencial de substituição de água potável por pluvial calculado para uma residência, tendendo ao valor de 40% quando se aumenta o volume do reservatório.

Para efeito de análise e comparação, adotando-se os mesmos volumes de reservatório do cenário anterior, para um reservatório com volume comercial de 15.000 litros, o potencial de economia seria de 35,42%, representando que, para os 365 dias do ano, a demanda de água não potável dessa residência seria completamente atendida em 252 dias, parcialmente atendida em 12 dias e não atendida em 101 dias. Para o volume do reservatório inferior de 20.000 litros, o potencial de economia seria de 37,11%, o que significa ao longo de um ano a demanda de água não potável dessa residência seria completamente atendida em 265 dias, parcialmente atendida em 11 dias e não atendida em 89 dias.

Em termos de consumo médio diário, um reservatório de 15.000 litros possibilita a substituição de 235,61 litros/dia, já um reservatório de 20.000 litros pode atender até 246,86 litros/dia de água não potável. O reservatório ideal indicado para este Cenário 2 ficou em 5500 litros para um potencial de economia de 31,72%, permitindo um consumo médio de 211,0 litros / dia, e um descarte médio de 180 litros/dia. Em termos de

atendimento, seriam 222 dias de atendimento completo, 17 dias de atendimento parcial e 126 dias de não atendimento.

Cenário 2:	Descarte Inicial (mm):	Área de Captação (m ²):	Demanda total de água (l per capita/dia):	Número de Moradores:	% substituição de água potável por pluvial:	Coefficiente de escoamento:
	2	100	166,3	4	50	0,9

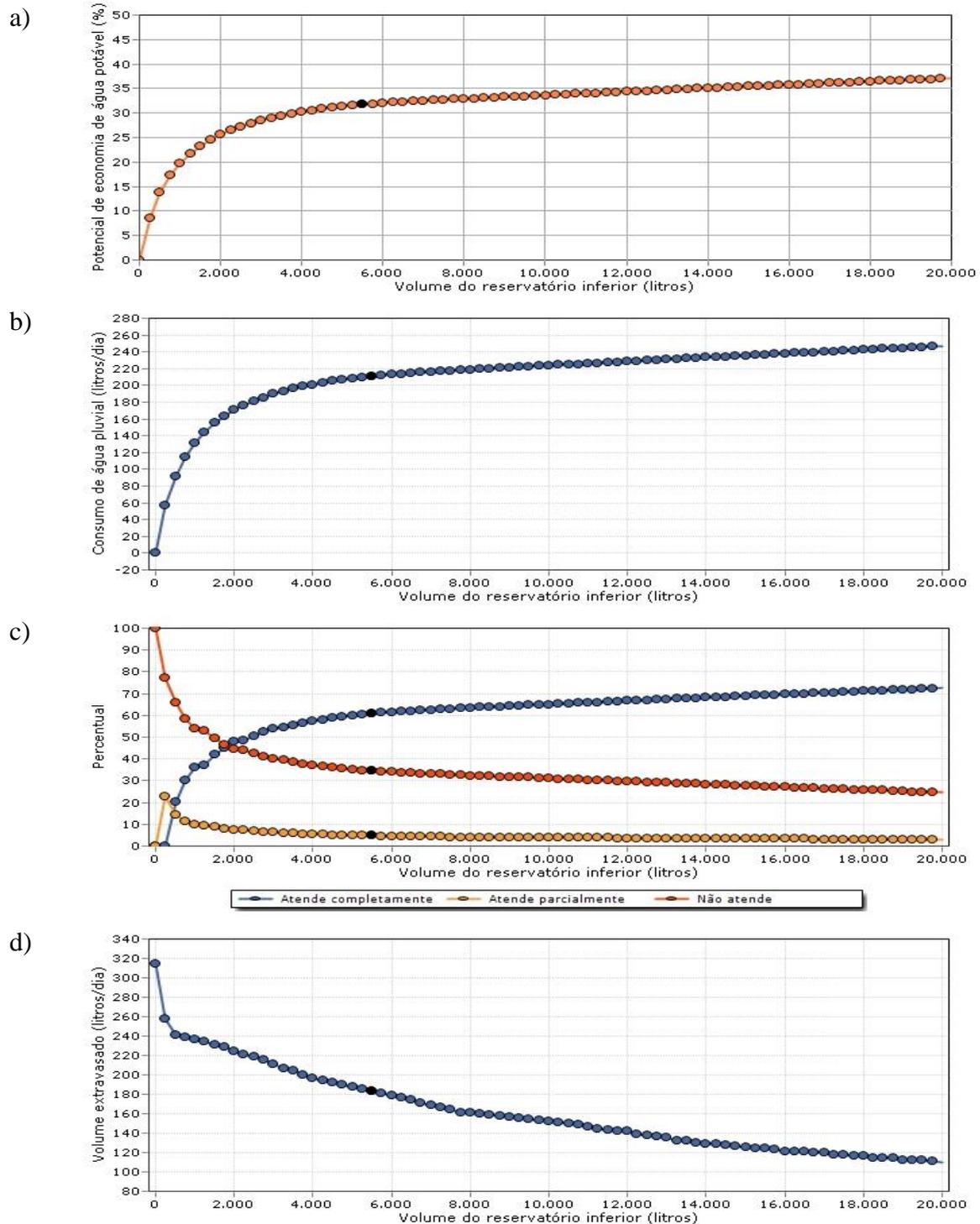


Figura 45: Cenário 2 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)

Na simulação feita com o Cenário 3, tem-se que a área de captação é de 150 m² e o número de moradores é 2. Assim, conforme apresentado nos gráficos da Figura 46, para efeito de análise e comparação, adota-se um reservatório com volume comercial de 15000 litros e com isso se obtém um potencial de economia de 49,58%, o que significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessa residência seja completamente atendida em 345 dias, seja parcialmente atendida em 3 dias e não atendida em apenas 17 dias.

Caso fosse adotado um reservatório com volume maior que 18500 litros o potencial de economia seria de 50,0%, o que significa que a demanda de água não potável dessa residência será completamente atendida durante todo o ano. Com a utilização média de 166,3 litros/dia e um descarte médio de 302,1 litros/dia.

Para o reservatório ideal indicado pelo programa Netuno de 8750 litros, o potencial de economia fica em 46,14%, possibilitando um consumo médio de 153,46 litros/dia, um extravasamento 316,5 litros/dia. Em termos de dias de atendimento, ao longo do ano, 336 dias seriam completamente atendidos, 3 dias parcialmente atendidos e 26 dias sem atendimento.

Cenário 3:	Descarte Inicial (mm):	Área de Captação (m ²):	Demanda total de água (l per capita/dia):	Número de Moradores:	% substituição de água potável por pluvial:	Coefficiente de escoamento:
	2	150	166,3	2	50	0,9

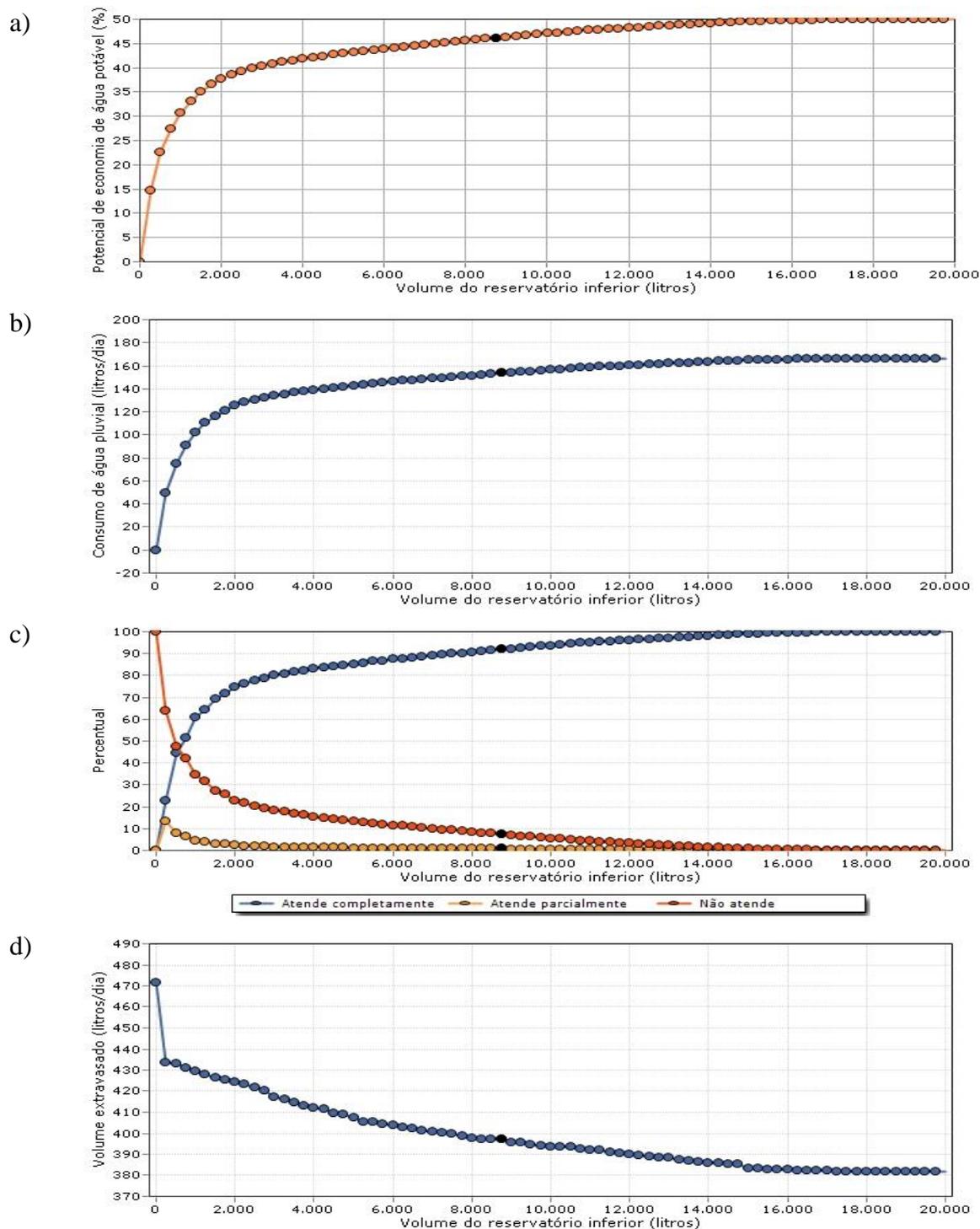


Figura 46: Cenário 3 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)

Aumentando-se o número de moradores e mantendo-se os dados do cenário 3 tem-se os resultados de como se comporta o dimensionamento para o cenário 4 exibido na Figura 47. Neste cenário o consumo de água não potável possibilitado pela adoção de um reservatório comercial de 15000 litros é de 266,53 litros/dia, garantindo um potencial de economia de 40,07%, ficando o descarte de água pluvial por extravasamento em média 202,59 litros/dia. Ao longo do ano essa residência será completamente atendida em 289 dias, parcialmente atendida em 7 dias e não atendida em 69 dias.

Como há uma aparente estabilização das curvas em função do aumento da capacidade do reservatório, para um reservatório de 20000 litros o potencial de economia seria de 42,02%, o que significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessa residência seja completamente atendida em 304 dias, seja parcialmente atendida em 6 dias e não atendida em 55 dias. O volume médio de água não potável consumido seria de 279,5 litros/dia e o extravasado seria de 189,14 litros/dia.

No ponto de inflexão da curva fica o reservatório ideal indicado pelo programa com capacidade de 6000 litros, resultando em um potencial de economia de 35,80%, permitindo o consumo médio de 238,16 litros/dia de água não potável nessa residência e descartando em média 232,40 litros/dia. Em 70,32% dos dias do ano o consumo de água não potável será totalmente atendido, em 2,92% parcialmente atendidos e 26,76% não atendidos.

Cenário 4:	Descarte Inicial (mm):	Área de Captação (m ²):	Demanda total de água (l per capita/dia):	Número de Moradores:	% substituição de água potável por pluvial:	Coefficiente de escoamento:
	2	150	166,3	4	50	0,9

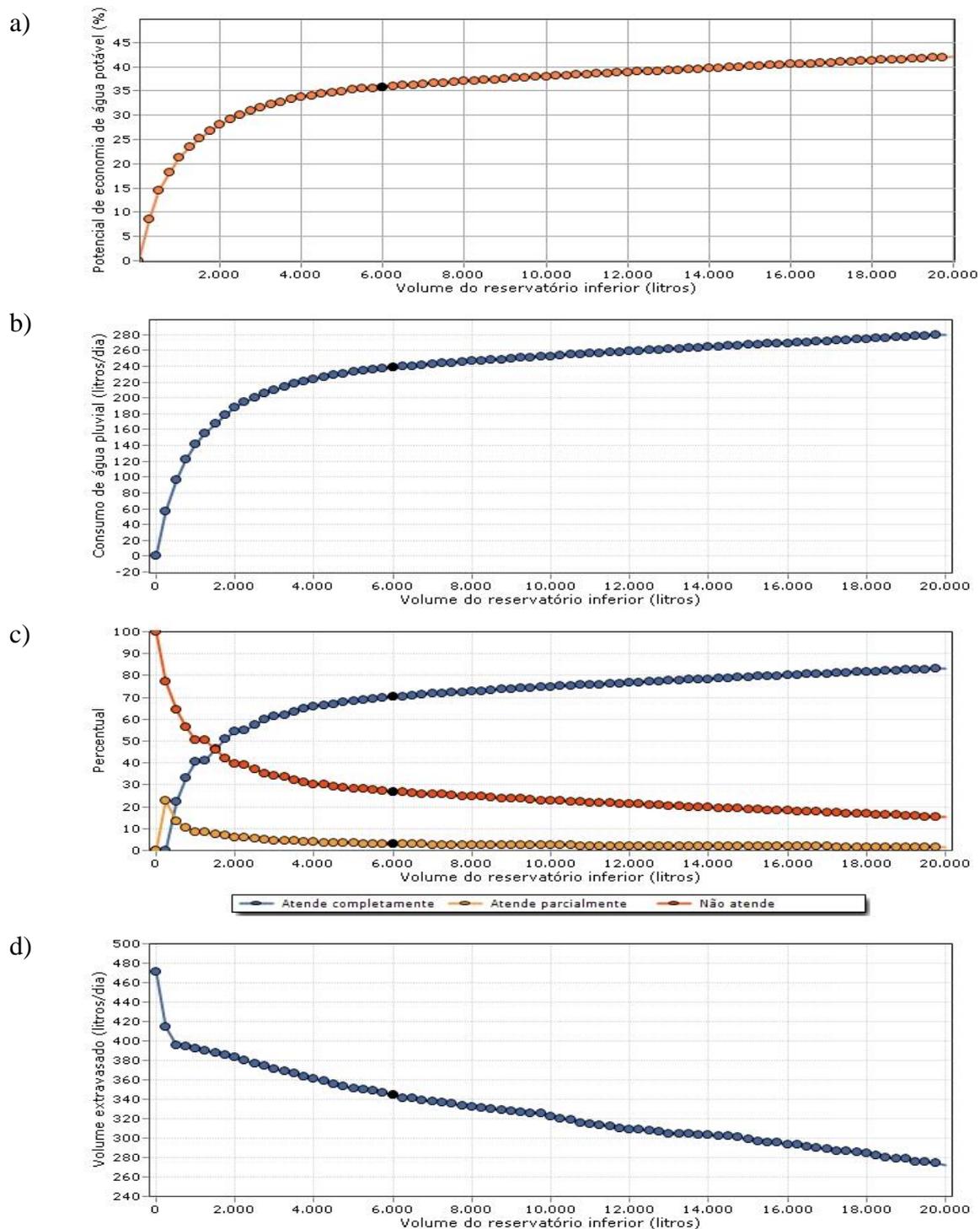


Figura 47: Cenário 4 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)

Do cenário 5 ao cenário 8, tem-se a mudança do coeficiente de escoamento, sendo essas simulações feitas para telhado verde. O cenário 5 corresponde a uma residência com 100m² de telhado verde, 2 moradores e utilização diária de 166,3 litros de água não potável. Conforme se pode observar nas curvas da Figura 48, para qualquer reservatório com capacidade superior a 13500 litros, o potencial de economia é de 28,79%, o que significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessa residência seja completamente atendida em 196,04 dias, seja parcialmente atendida em 34,64 dias e não atendida em 134,32 dias. Nota-se que o volume extravasado neste caso tende a zero ficando disponível para utilização apenas 95,76 litros/dia de água não potável.

Em termos de demanda de água potável atendida, tem-se que os valores do atendimento total são menores que os do telhado convencional, pois, no caso do telhado verde, a absorção de água pelo telhado é muito maior. O volume ideal do reservatório inferior indicado neste cenário foi de 3500 litros, possibilitando um potencial de economia de 25,65%, permitindo a substituição de 85,31 litros/dia por água não potável e deixando um extravasamento de apenas 10,42 litros/dia. Sob outro ponto de vista seria o mesmo que em 46,7% dos dias do ano toda a demanda de água não potável seja atendida, em 11,67% parcialmente atendida e em 41,63% não atendida.

Cenário 5:	Descarte Inicial (mm):	Área de Captação (m ²):	Demanda total de água (l per capita/dia):	Número de Moradores:	% substituição de água potável por pluvial:	Coefficiente de escoamento:
	0	100	166,3	2	50	0,27

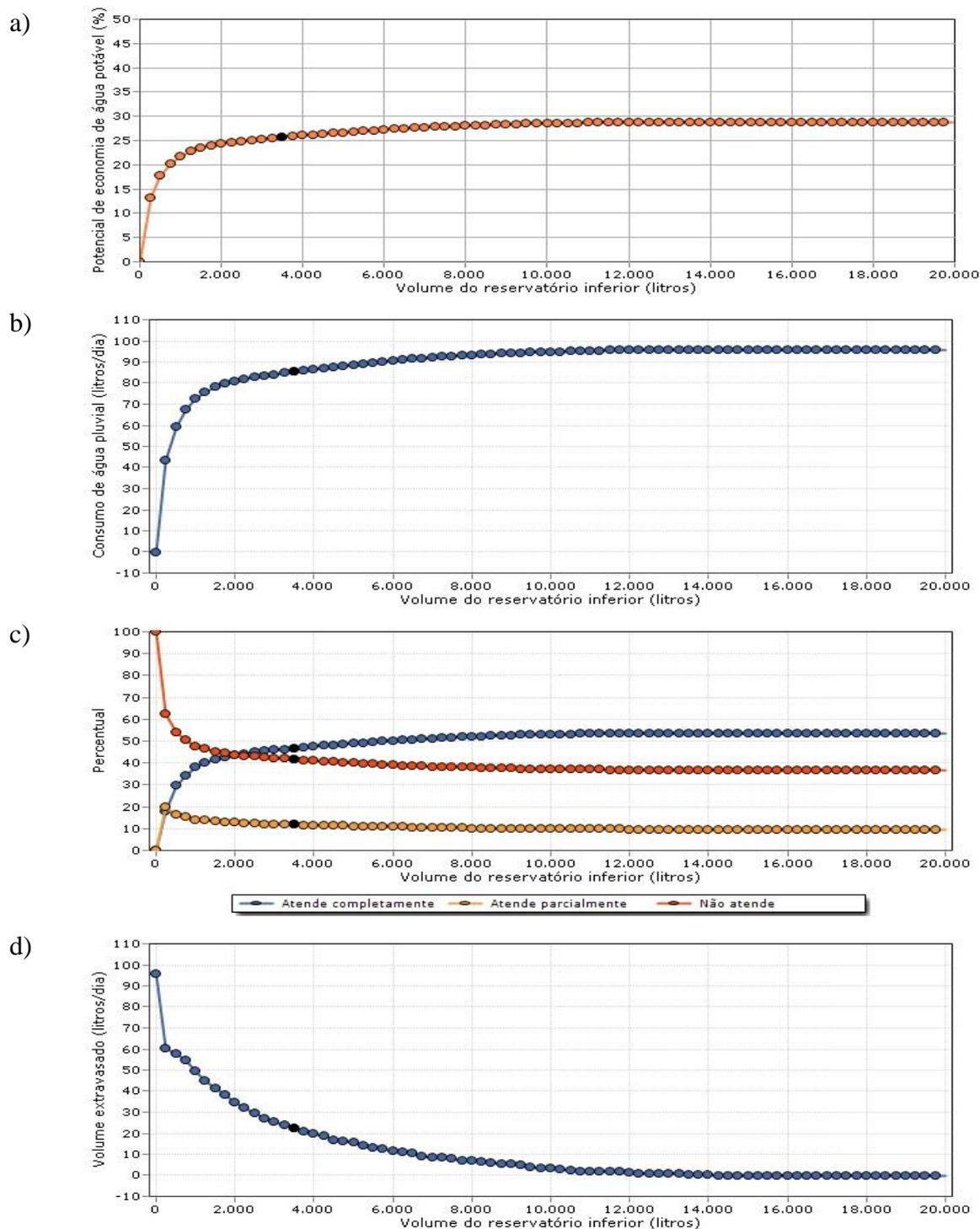


Figura 48: Cenário 5 - Volume do reservatório inferior (litros) em função do: a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia).

O Cenário 6 mostrou-se o mais desfavorável, tendo em vista quem além de ser com telhado verde, é com o maior número de moradores e menor área de captação. Como pode ser observado nos gráficos da Figura 49, para qualquer reservatório com capacidade superior a 4750 litros, o potencial de economia é de 14,40%, o que significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessa residência seja completamente atendida em 77 dias, seja parcialmente atendida em 71 dias e não atendida em 217 dias. Neste caso o consumo médio de água não potável dessa residência ficaria em 95,8 litros/dia sendo que toda a chuva disponível seria armazenada no reservatório fazendo com que o extravasamento tenda a zero.

O software indica um volume ideal de 2.000 litros para o reservatório inferior, indicado pela diferença entre potencial de atendimento com variação menor que $1,5\%/m^3$, mas neste caso poderia ser facilmente identificado por inspeção visual pois fica no início onde a curva praticamente se estabiliza. Para esta capacidade o potencial de economia nessa residência seria de 13,83%, possibilitando um consumo médio de 92,1 litros/dia com um extravasamento de 3,79 litros/dia. Com relação ao atendimento, em apenas 19,76% dos dias do ano o consumo de água não potável seria totalmente atendido, em 20% parcialmente atendido e em 60,24% não seria atendido.

Cenário 6:	Descarte Inicial (mm):	Área de Captação (m ²):	Demanda total de água (l per capita/dia):	Número de Moradores:	% substituição de água potável por pluvial:	Coefficiente de escoamento:
	0	100	166,3	4	50	0,27

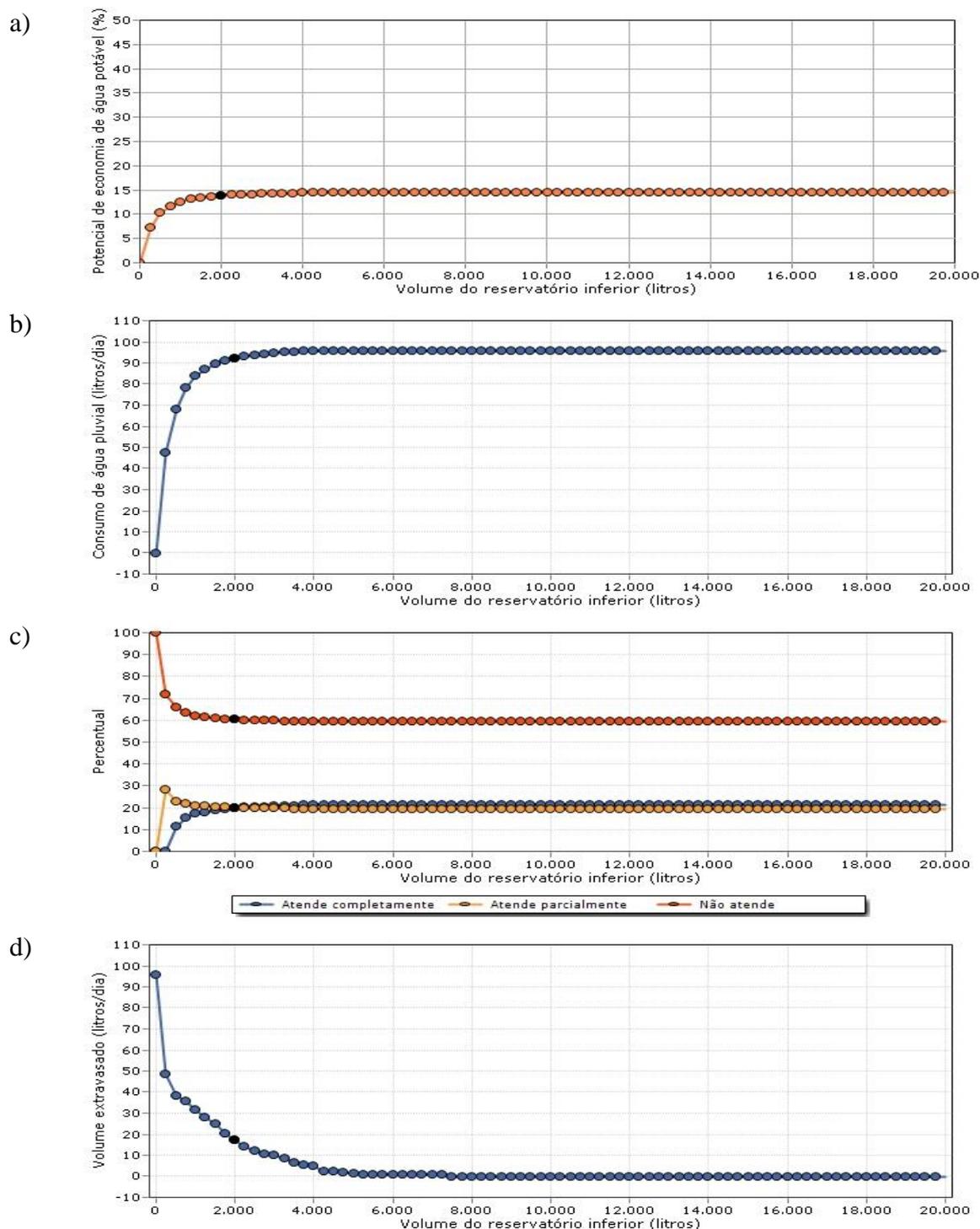


Figura 49: Cenário 6 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)

Para o uso de cobertura verde, tem-se que o Cenário 7 seria o mais favorável (já que possui maior área de captação e menor número de moradores) e como pode ser observado nos gráficos da Figura 50, mesmo após a primeira inflexão da curva de potencial de atendimento em função do volume do reservatório inferior, seu comportamento ainda se mostra crescente, porém progressivamente com uma taxa cada vez menor.

Para efeito de análise e comparação com os demais cenários, adota-se um reservatório com volume comercial de 15.000 litros e com isso é possível um potencial de economia de 39,51%, o que significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessa residência seja completamente atendida em 282 dias, seja parcialmente atendida em 13 dias e não atendida em 69 dias. O consumo médio de água não potável para este caso ficaria em 131,42 litros/dia com um extravasamento de 11,95 litros/dia em média. Para um reservatório de 20.000 litros o potencial de economia seria de 41,63%, permitindo o consumo médio de água não potável de 138,45 litros/dia com um extravasamento de 4,95 litros/dia. Analisando o atendimento de água não potável ao longo do ano dessa residência, percebe-se que ela será completamente atendida em 298 dias, parcialmente atendida em 12 dias e não atendida em 55 dias.

O volume ideal indicado pelo software neste cenário foi de 4.000 litros, sendo que para esta capacidade 32,16% seria o potencial de economia, resultando em um consumo médio diário de água não potável de 106,95 litros e com extravasamento de 36,4 litros/dia. Em termos de atendimento 60,96% dos dias do ano seriam completamente atendidos, 8,10% parcialmente atendidos e 30,94% dos dias não haveria atendimento de água não potável para esta residência.

Os gráficos da Figura 51 para o Cenário 8 também apresentam um comportamento estável das curvas visualmente a partir da capacidade de 10.000 litros para o reservatório inferior. Numericamente para qualquer reservatório com capacidade superior a 13.500 litros, o potencial de economia é de 21,59%, o que significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessa residência seja completamente atendida em 138 dias, seja parcialmente atendida em 51 dias e não atendida em 176 dias. Não há mais extravasamento de água não potável e o consumo médio ao longo do ano ficaria em 143,62 litros.

Cenário 7:	Descarte Inicial (mm):	Área de Captação (m ²):	Demanda total de água (l per capita/dia):	Número de Moradores:	% substituição de água potável por pluvial:	Coefficiente de escoamento:
	0	150	166,3	2	50	0,27

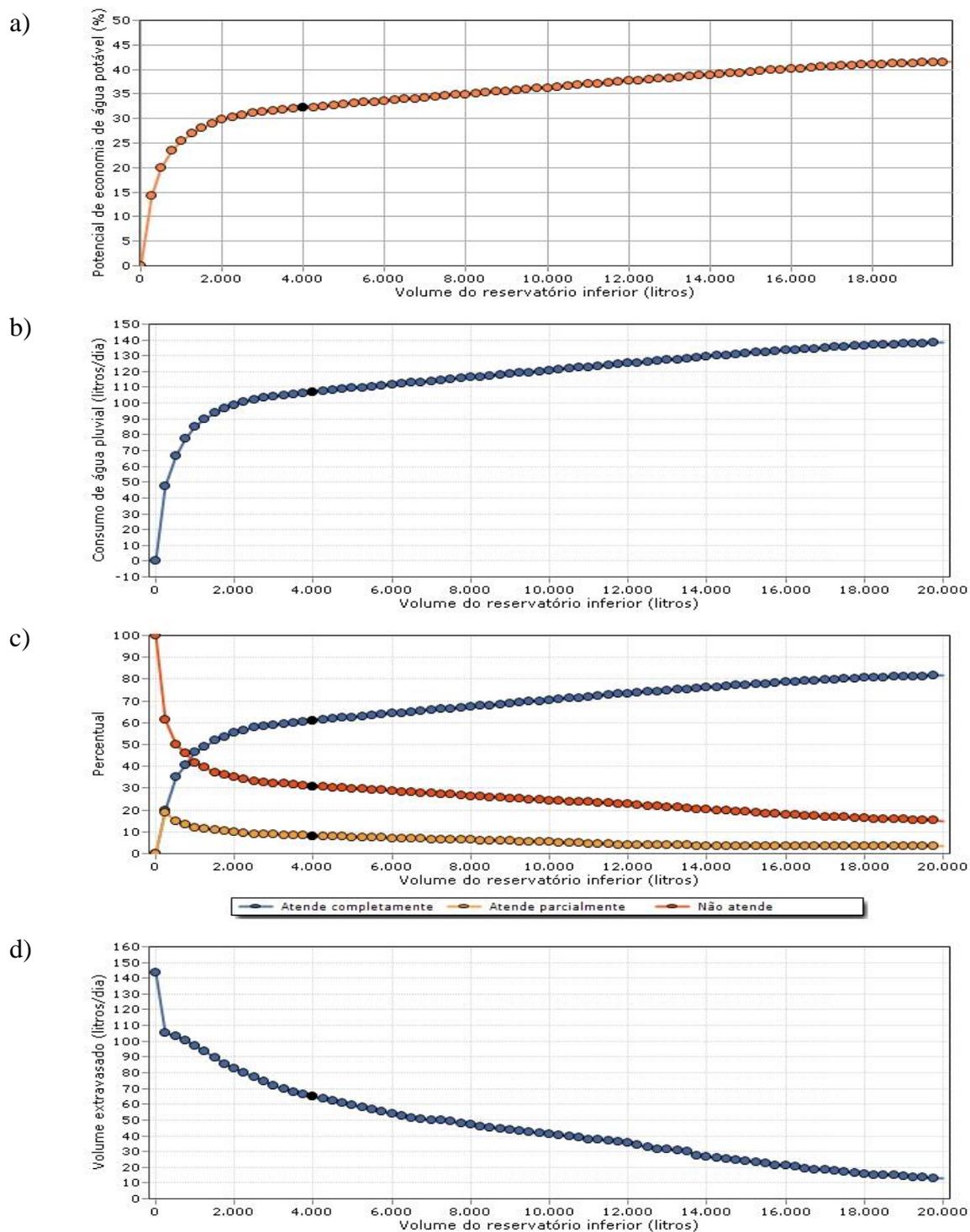


Figura 50: Cenário 7 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)

Cenário 8:	Descarte Inicial (mm):	Área de Captação (m ²):	Demanda total de água (l per capita/dia):	Número de Moradores:	% substituição de água potável por pluvial:	Coefficiente de escoamento:
	0	150	166,3	4	50	0,27

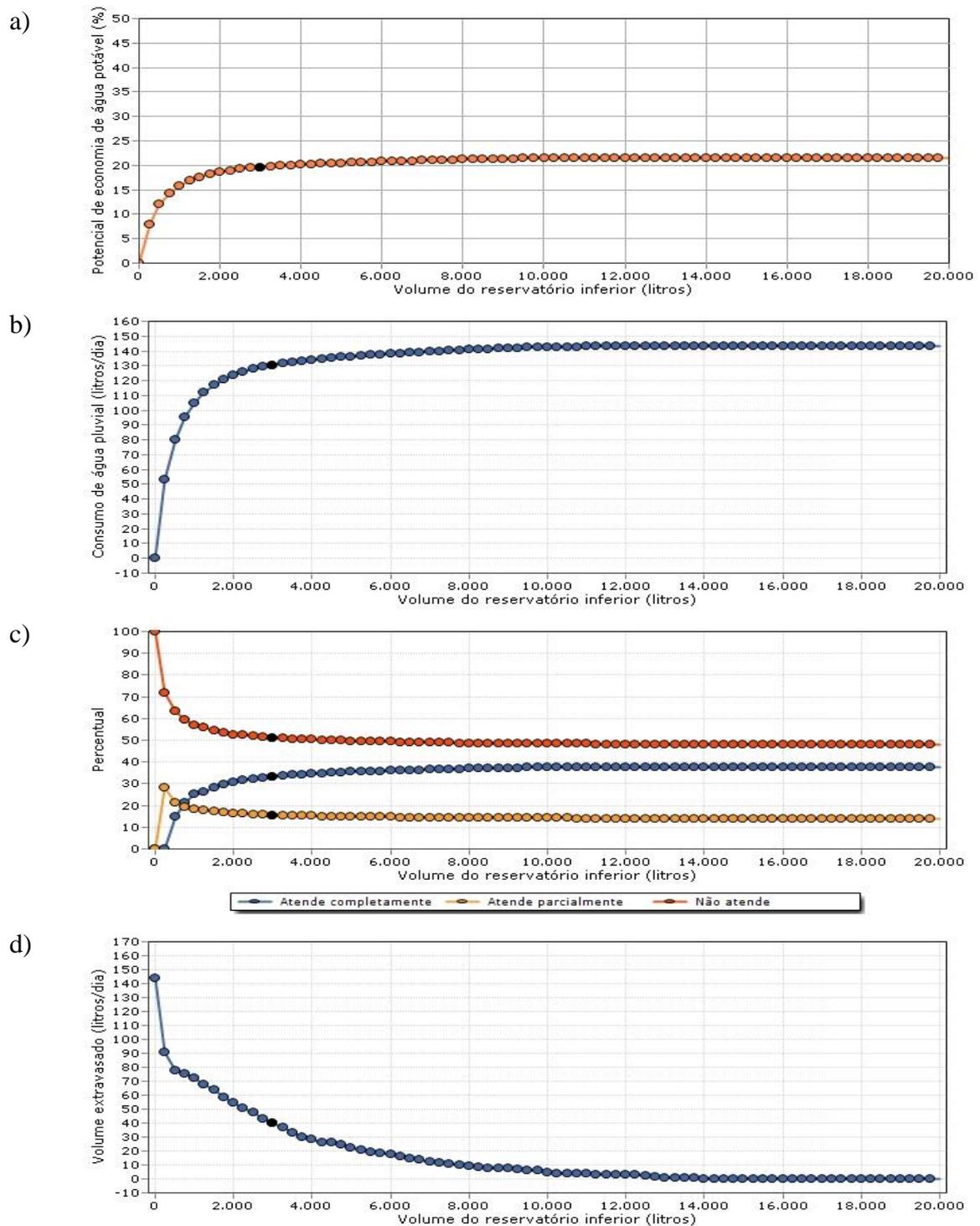


Figura 51: Cenário 8 - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)

4.4 Resumo do resultado das simulações dos cenários

O resultado para a indicação do volume ideal de um reservatório é baseado na variação percentual do potencial de economia, a partir de um ponto onde o potencial de economia não varia mais do que uma porcentagem que é indicada pelo usuário no campo “Diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial (%/m³)” como citado anteriormente para este trabalho foi utilizado o valor de 1,5 %/m³. Como as curvas de potencial de economia em função do volume do reservatório dependem de diversas variáveis, o comportamento desse resultado apresenta uma variação não linear, para a mesma série pluviométrica. Isso pode ser observado nos Quadros 11 e 12, que apresentam um resumo com os resultados de volume ideal do reservatório inferior com seu respectivo potencial de economia para cada um dos cenários do Quadro 8 utilizados nas simulações. Resultados semelhantes aos obtidos utilizando o *software* Netuno, podem ser observados nos trabalhos de Campisano e Modica (2012) e Bocanegra-Martínez *et al.* (2014), onde são aplicados métodos comportamentais.

As curvas de potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório apresentam um comportamento mais constante à medida que o tamanho do reservatório aumenta. Considerando a tendência dos gráficos do potencial de economia pode-se notar que elas irão atingir a um limite devido à quantidade de água de chuva disponível ao longo dos meses do ano, contrariando a ideia de que quanto maior o reservatório escolhido, maior seria o potencial de economia obtido. Como o reservatório é o item que mais impacta economicamente em um sistema de captação de águas pluviais, minimizar este volume representa minimizar o custo de implantação do sistema como um todo (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011). Pode-se notar que isso é possível, pois como mostram as curvas, em alguns casos praticamente não há mais variação positiva no potencial de economia aumentando-se o tamanho do reservatório.

A tendência de estabilização das curvas de potencial de economia em função do reservatório reflete diretamente na indicação do volume ideal dos reservatórios indicados numericamente nos Quadros 11 e 12 que mostram os resultados das simulações dos cenários utilizados neste trabalho. Um fato interessante a ser observado é que se aumentando somente o número de consumidores e mantendo-se as outras variáveis inalteradas o volume do reservatório ideal tende a reduzir indicando que a quantidade de

água de chuva disponível não é suficiente para manter um reservatório maior completo ao longo do ano, devido ao aumento do consumo.

O Quadro 11 mostra um resumo dos resultados das simulações dos cenários, para o telhado convencional, com as seguintes variáveis:

Coeficiente de escoamento superficial = 0,9
 Demanda de água potável = 166,3 litros / dia
 Descarte precipitação = 2 mm
 Dados de precipitação = ANA-1998-2014.csv
 Percentual de substituição = 50 %

Quadro 11: Resumo dos resultados das simulações para os cenários envolvendo telhado convencional.

n. cenário	Área de captação (m ²)	Número de habitantes	Reservatório inferior. Vol Ideal:	Potencial de economia de água potável (%)
1	100	2	11250	45,29
2	100	4	5500	31,72
3	150	2	8750	46,14
4	150	4	6000	35,80

O Quadro 12 mostra um resumo dos resultados das simulações dos cenários, para o telhado verde, com as seguintes variáveis:

Coeficiente de escoamento superficial = 0,27
 Demanda de água potável = 166,3 litros/dia
 Descarte precipitação = 0 mm
 Dados de precipitação = ANA-1998-2014.csv
 Percentual de substituição = 50%

Quadro 12: Resumo dos resultados das simulações para os cenários envolvendo telhado verde.

n. cenário	Área de captação (m ²)	Número de habitantes	Reservatório inferior. Vol Ideal (litros)	Potencial de economia de água potável (%)
5	100	2	3500	25,65
6	100	4	2000	13,83
7	150	2	4000	32,16
8	150	4	3000	19,62

Conforme os valores dos resumos dos resultados encontrados nos Quadros 11 e 12, observa-se que a área do telhado é mais importante do que o tamanho de reservatório para se ter maior aproveitamento, isto é, com o aumento da área, o aumento da

porcentagem de economia é maior, pois $32,16 - 25,65 = 6,51\%$ com um aumento de 500 litros de reservatório para o mesmo aumento de área de 50 m^2 ; enquanto $19,62 - 13,83 = 5,79\%$ com um aumento de 1000 litros no reservatório para o mesmo aumento na área de 50 m^2 .

Logo, pode-se observar que aumentar o volume do reservatório da água de chuva não resultará em melhor aproveitamento se o tamanho da área de coleta não for adequado. Assim, é melhor ter uma área de coleta maior do que um reservatório maior, tendo em vista que tal situação proporcionará a mesma situação de maior aproveitamento e, conseqüentemente, uma maior economia no custo total.

Para efeito de comparação adotando-se um reservatório com volume comercial de 15.000 litros, que é numericamente maior do que o máximo apresentado no Quadro 11 como volume ideal e apresentando-se os resultados para os cenários nos Quadros 13 e 14, pode-se observar que o incremento obtido no valor do potencial de economia não justifica a utilização de um reservatório maior, pois vai representar menos de 1,5% por m^3 adicionado.

Quadro 13: Resultados das simulações para os cenários envolvendo telhado convencional.

n. cenário	Área de captação (m^2)	Número de habitantes	Reservatório inferior. (litros)	Potencial de economia de água potável (%)
1	100	2	15000	47,46
2	100	4	15000	35,42
3	150	2	15000	49,58
4	150	4	15000	40,07

Quadro 14: Resultados das simulações para os cenários envolvendo telhado verde.

n. cenário	Área de captação (m^2)	Número de habitantes	Reservatório inferior. (litros)	Potencial de economia de água potável (%)
5	100	2	15000 (10000)	28,79
6	100	4	15000 (5000)	14,40
7	150	2	15000	39,51
8	150	4	15000 (13000)	21,59

Para os cenários com o telhado verde embora tenha sido adotado na comparação o valor de 15000 litros para o reservatório inferior, o valor indicado entre parênteses é o volume limite que a partir do qual o potencial de economia não aumenta mais.

A Figura 52 contendo os gráficos dos potenciais de economia de água potável em função do reservatório para os oito cenários utilizados neste trabalho demonstra os resultados das simulações, onde se verifica uma tendência de estabilização das curvas de economia a medida em que o volume do reservatório aumenta. Em preto estão indicados o volume ideal para cada um dos cenários.

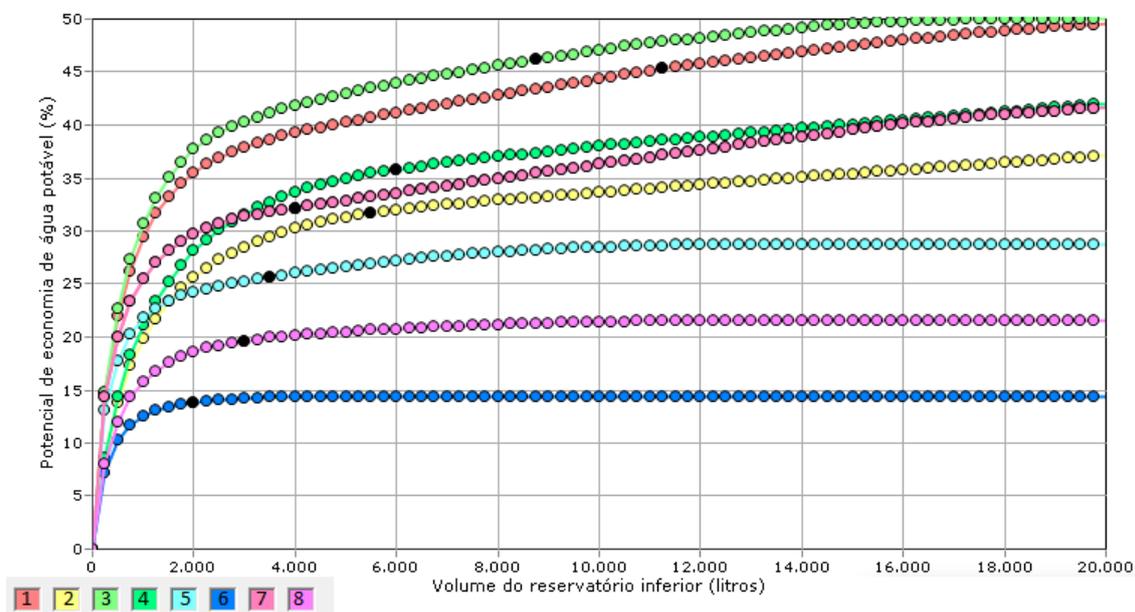


Figura 52: Potencial de economia de água potável em função do Volume do reservatório inferior (litros), para os oito cenários utilizados neste trabalho

4.5 Comparações das simulações

4.5.1 Telhado convencional

Para os cenários do Quadro 8, correspondentes ao uso do telhado convencional, variando-se apenas o número de moradores e mantendo as outras variáveis fixas, pode-se observar o gráfico na Figura 53 que exhibe o potencial de economia em função do volume do reservatório inferior.

Na Figura 53a, considerando uma área de captação 100 m^2 , o potencial de economia utilizando um reservatório de 10.000 litros é de 33,62% para uma residência com 4 moradores e 44,34% para uma residência de 2 moradores. Como o potencial de substituição deste cenário é de 50% o que significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessas residências seja completamente atendida em 237 dias e 321

dias, parcialmente atendida em 14 e 4 dias e não atendida em 113 e 39 dias respectivamente.

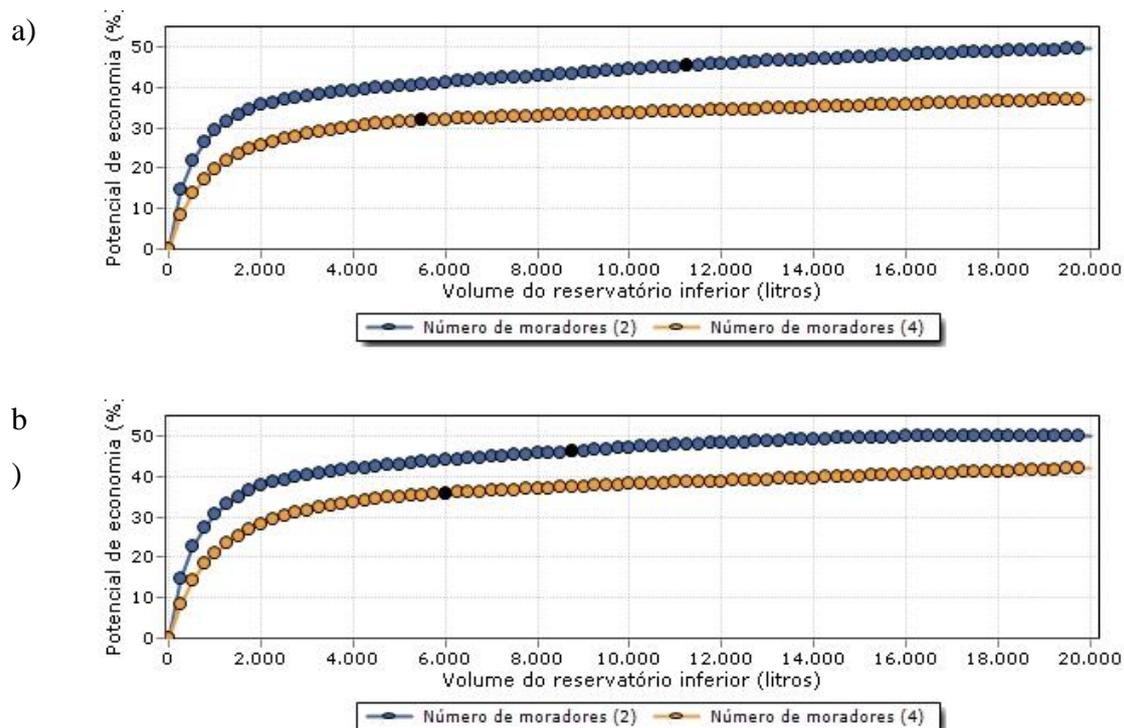


Figura 53: Potencial de economia de água potável em função do Volume do reservatório inferior (litros), para uma residência com (a) 100m² e com (b) 150m² de cobertura e um potencial de substituição de água potável de 50%. Telhado Convencional

Na Figura 53b, considerando uma área de captação 150 m², o potencial de economia utilizando um reservatório de 10.000 litros é de 38% para uma residência com 4 moradores e 47% para uma residência de 2 moradores. Como o potencial de substituição deste cenário é de 50% o que significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessas residências seja completamente atendida em 273 dias e 342 dias, parcialmente atendida em 8 e 2 dias e não atendida em 83 e 20 dias respectivamente.

Outra abordagem, variando-se apenas a área de captação e mantendo as outras variáveis fixas e utilizando os cenários do Quadro 8 correspondentes ao uso de telhado convencional, pode ser observada no gráfico da Figura 54 que exhibe o potencial de economia em função do volume do reservatório inferior.

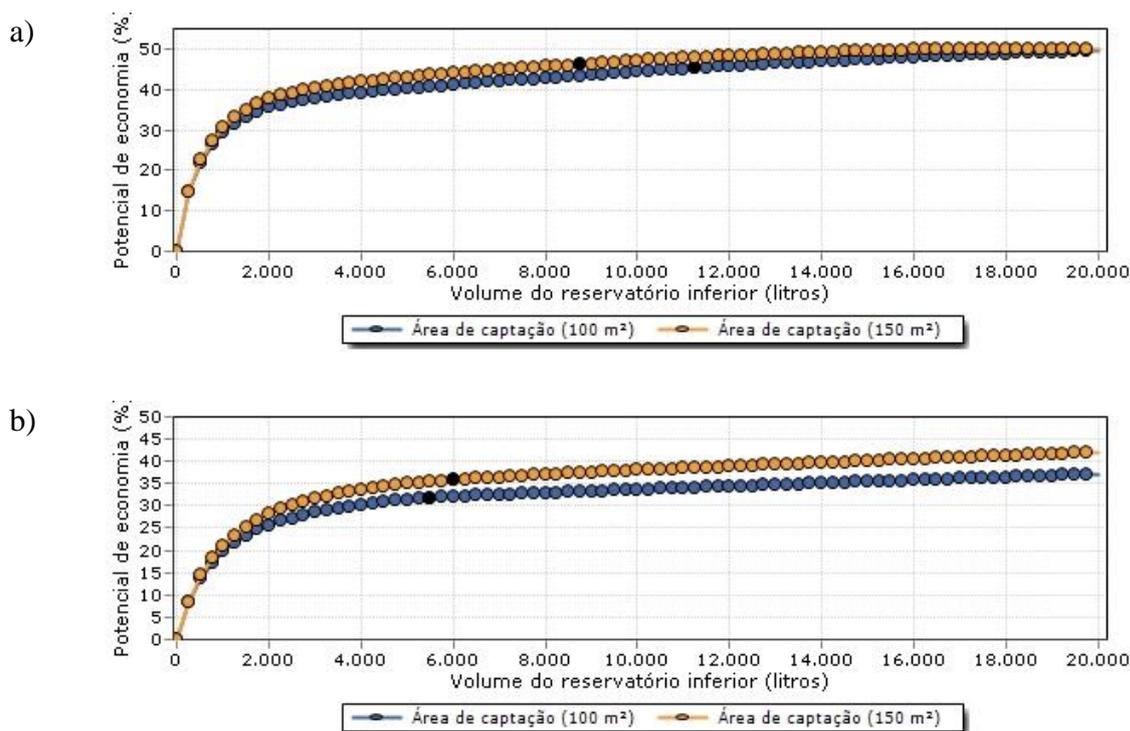


Figura 54: Potencial de economia de água potável em função do Volume do reservatório inferior (litros), para uma residência com (a) 2 e com (b) 4 moradores e um potencial de substituição de água potável de 50%. Telhado Convencional

Na Figura 54a, considerando 2 moradores, o potencial de economia obtido para um reservatório de 10.000 litros é de 44,34% para uma residência com 100m² de cobertura, 47,05% para uma residência com 150m² de cobertura. Como o potencial de substituição deste cenário é de 50%, significa que ao longo do ano a demanda de água não potável dessas residências seja completamente atendida em 321 dias e 342 dias, parcialmente atendida em 4 e 2 dias e não atendida em 39 e 20 dias respectivamente. Neste caso, pode-se perceber que o aumento somente na área de captação praticamente não afeta o potencial de economia.

Na Figura 54b, considerando 4 moradores, o potencial de economia obtido para um reservatório de 10.000 litros é de 33,6% para uma residência com 100m² de cobertura e 38% para uma residência com 150m² de cobertura. Como o potencial de substituição deste cenário é de 50%, significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessas residências seja completamente atendida em 237 dias e 273 dias, parcialmente atendida em 14 e 8 dias e não atendida em 113 e 83 dias respectivamente. Neste caso, o aumento da área de captação não muda o formato da curva de potencial de economia, apenas a desloca para cima, aumentando-o proporcionalmente.

Nota-se ainda, através de análise da Figura 54, que o atendimento da necessidade de água não potável para uma residência com dois moradores será total se for adotado reservatório inferior maior ou igual a 15.000 litros em uma residência com área de cobertura de 150m² e um reservatório inferior maior ou igual a 20.000 litros em uma residência com área de cobertura de 100m².

4.5.2 Telhado Verde

Para os cenários do Quadro 8, correspondentes ao uso do telhado verde, variando-se apenas o número de moradores e mantendo as outras variáveis fixas, pode-se observar o gráfico na Figura 55 que exhibe o volume do reservatório inferior em função do potencial de economia.

Na Figura 55a, considerando uma área de captação de 100 m², o potencial de economia utilizando um reservatório de 10.000 litros é de 14,4% para uma residência com 4 moradores e 28,5% para uma residência de 2 moradores. Como o potencial de substituição deste cenário é de 50% o que significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessas residências seja completamente atendida em 77 dias e 193 dias, parcialmente atendida em 71 e 36 dias e não atendida em 217 e 136 dias, respectivamente.

Na Figura 55b, considerando uma área de captação de 150 m², o potencial de economia utilizando um reservatório de 10.000 litros é de 21,42% para uma residência com 4 moradores e 36,29% para uma residência de 2 moradores. Como o potencial de substituição deste cenário é de 50% o que significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessas residências seja completamente atendida em 137 dias e 257 dias, parcialmente atendida em 52 e 19 dias e não atendida em 176 e 89 dias, respectivamente. Aumentando o número de moradores, o potencial de economia é proporcionalmente reduzido, embora aumente o consumo de água não potável, indicando que o regime de chuva da região não consegue mais suprir toda a água necessária para esta área de captação.

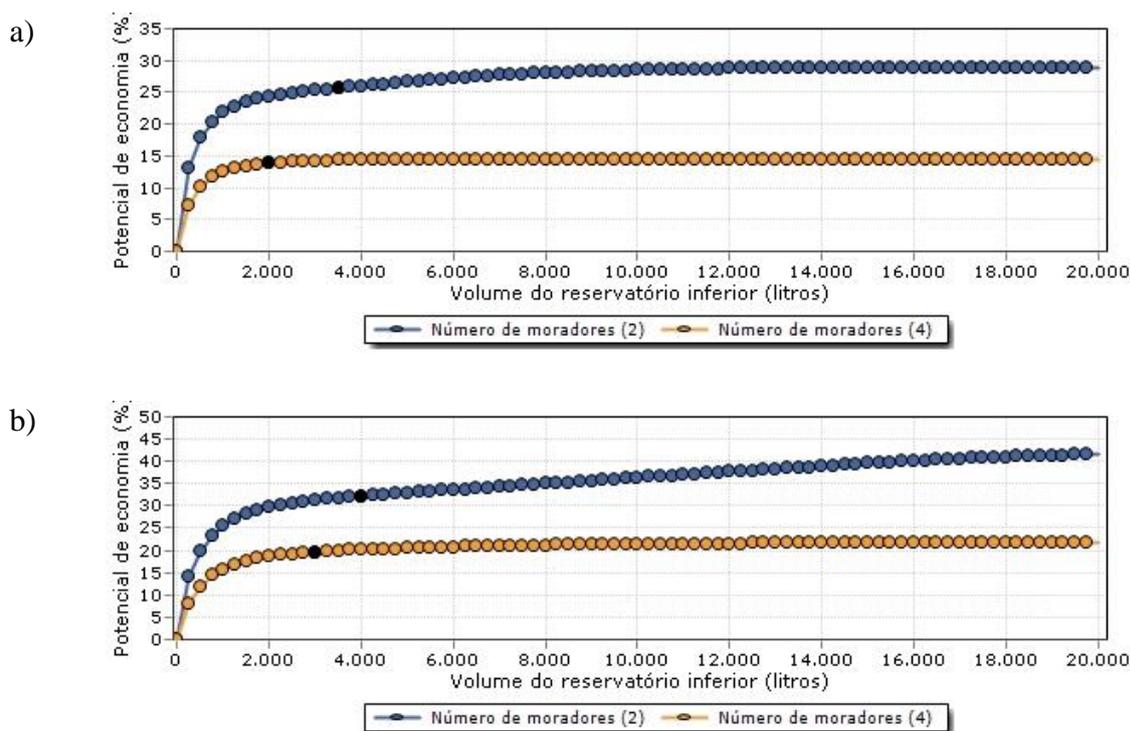


Figura 55: Potencial de economia de água potável em função do Volume do reservatório inferior (litros), para uma residência com (a) 100m² e com (b) 150m² de cobertura e um potencial de substituição de água potável de 50%. Telhado verde.

Variando-se apenas a área de captação e mantendo as outras variáveis fixas e utilizando os cenários do Quadro 8 correspondentes ao uso de telhado verde, pode ser observado no gráfico da Figura 56 que exibe o volume do reservatório inferior em função do potencial de economia.

Na Figura 56a, considerando 2 moradores, o potencial de economia obtido para um reservatório de 10.000 litros é de 28,48% para uma residência com 100m² de cobertura, 36,29% para uma residência com 150m² de cobertura. Como o potencial de substituição deste cenário é de 50% o que significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessas residências seja completamente atendida em 193 dias e 257 dias, parcialmente atendida em 36 e 19 dias e não atendida em 136 e 89 dias, respectivamente.

Na Figura 56b, considerando 4 moradores, o potencial de economia obtido para um reservatório de 10.000 litros é de 14,4% para uma residência com 100m² de cobertura, 21,4% para uma residência com 150m² de cobertura. Como o potencial de substituição deste cenário é de 50% o que significa que para os 365 dias do ano a demanda de água não potável dessas residências seja completamente atendida em 77 dias e 137 dias, parcialmente atendida em 71 e 52 dias e não atendida em 217 e 176 dias, respectivamente.

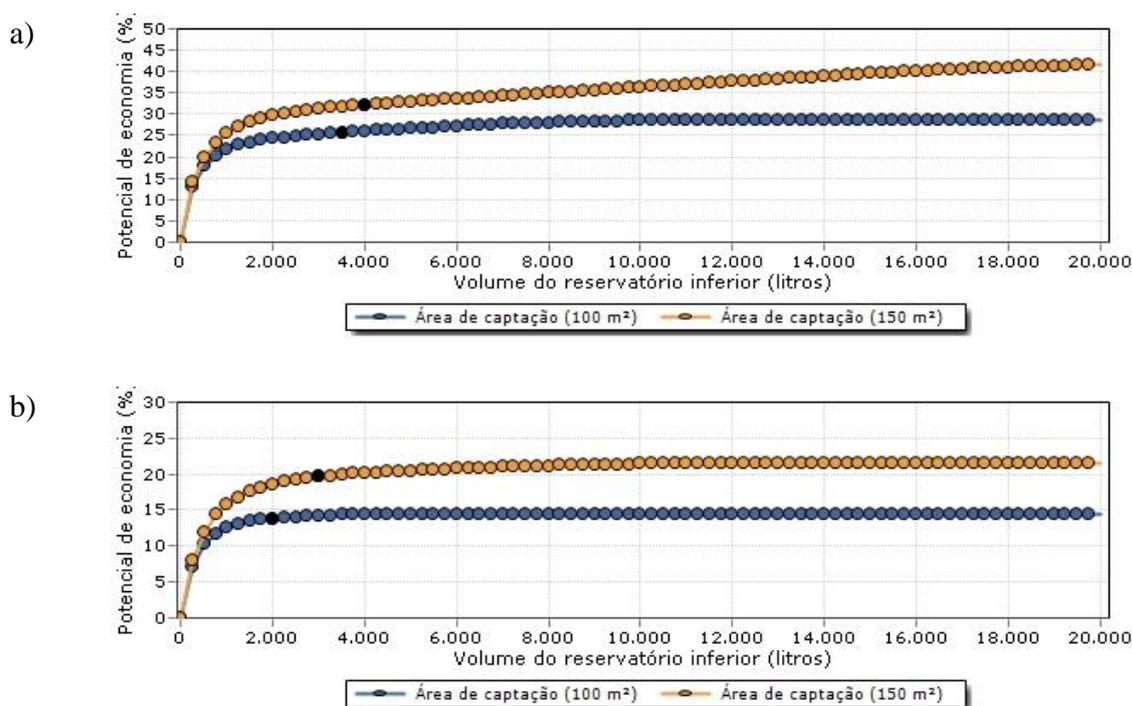


Figura 56: Potencial de economia de água potável em função do Volume do reservatório inferior (litros), para uma residência com (a) 2 e com (b) 4 moradores e um potencial de substituição de água potável de 50%. Telhado verde.

Nota-se ainda, através de análise da Figura 56, que o potencial de economia de água potável para uma residência com quatro moradores atinge um limite máximo de 14,4% e 21,6%, para uma área de cobertura adotada de 100m² e 150m², respectivamente, independente do aumento da capacidade do reservatório, que no caso de uma área de cobertura de 100m² qualquer volume de reservatório inferior, maior que 5.000 litros o potencial de economia não varia. Para uma área de cobertura de 150m² qualquer volume de reservatório maior que 10.000 litros também não altera mais o potencial de economia. Para uma residência com dois moradores e 100m² de área de cobertura o potencial de economia também atinge um máximo de 28,8% para reservatórios com volume superior a 10.000 litros, e para área de cobertura de 150m², o potencial de economia ainda não atinge um limite dentro do intervalo estudado podendo chegar a 45% para reservatório com volume superior a 20.000 litros.

4.6 Anos Hidrológicos Extremos

As análises feitas nas seções anteriores consideram toda a climatologia para a realização das simulações. Um estudo semelhante será apresentado nessa seção, porém considerando os anos extremos de maior e menor densidade pluviométrica, para que se possa ter ideia de como fica o aproveitamento em anos extremos.

Com base na Figura 24 que mostra o acumulado anual de precipitação pode-se perceber que os anos extremos de maior e menor densidade pluviométrica são respectivamente 1983 e 2014, onde segundo os dados da ANA apresentam os valores acumulados de chuva em 2272,9 mm e 572,5 mm, respectivamente.

Utilizando essas condições na simulação com o *software* Netuno com os valores dos dados de entrada correspondentes a uma residência típica, conforme seção 4.2, nota-se que o potencial de economia de água potável apresenta uma grande influência da quantidade de chuva disponível, conforme pode ser observado na Figura 57a e na Figura 58a, sendo que para o extremo de maior densidade pluviométrica a demanda de água não potável é completamente atendida o ano todo para reservatórios inferiores com capacidade maior que 14.000 litros. Já para o extremo de menor índice pluviométrico, o potencial de economia se estabiliza próximo a 25% para reservatórios inferiores com capacidade maior que 4.000 litros.

Extremo Maior	Descarte Inicial (mm):	Área de Captação (m ²):	Demanda total de água (l per capita/dia):	Número de Moradores:	% substituição de água potável por pluvial:	Coefficiente de escoamento:
1983	2	100	166,3	3	50	0,9

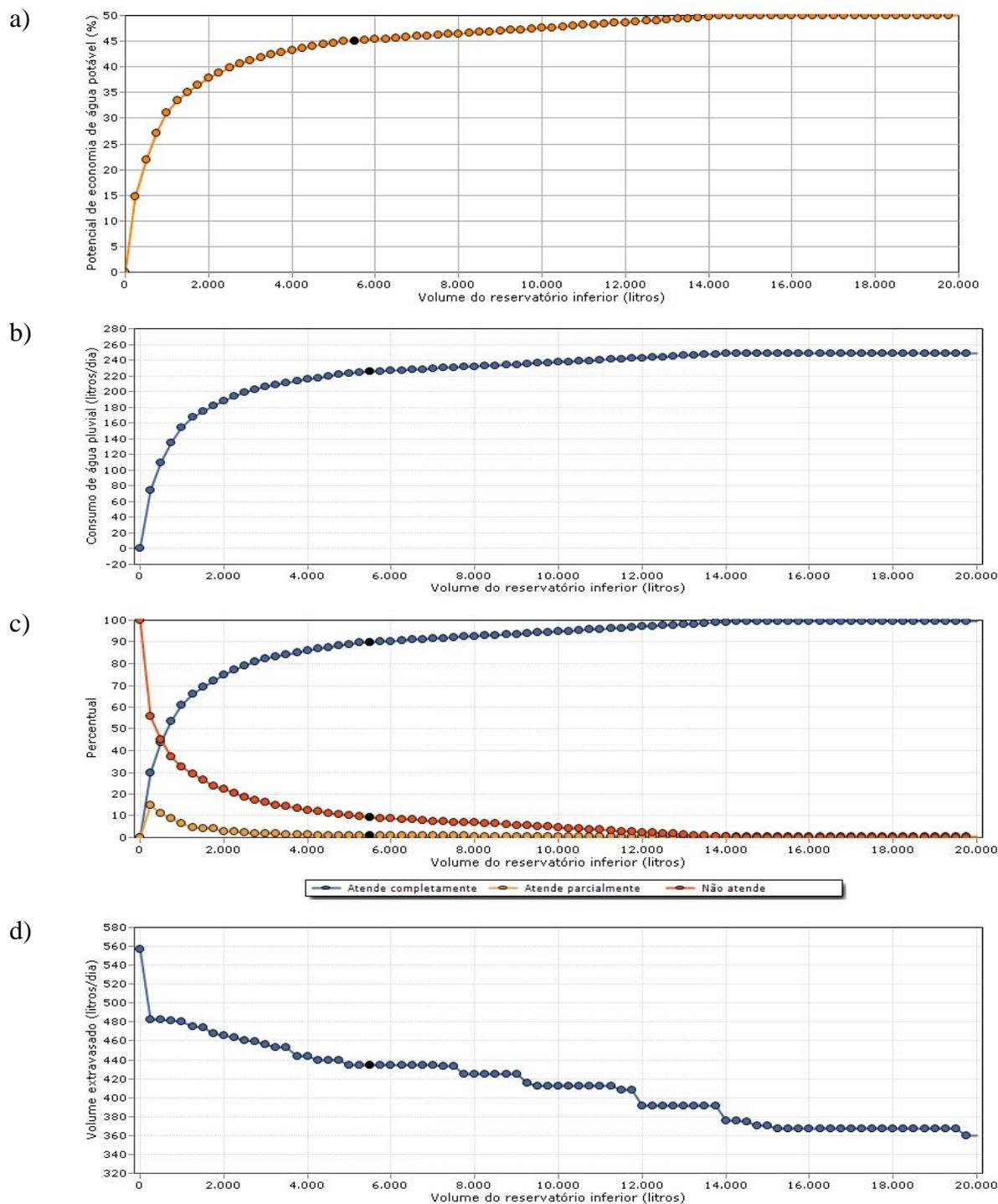


Figura 57: Extremo Maior - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)

Extremo Menor	Descarte Inicial (mm):	Área de Captação (m ²):	Demanda total de água (l per capita/dia):	Número de Moradores:	% substituição de água potável por pluvial:	Coefficiente de escoamento:
2014	2	100	166,3	3	50	0,9

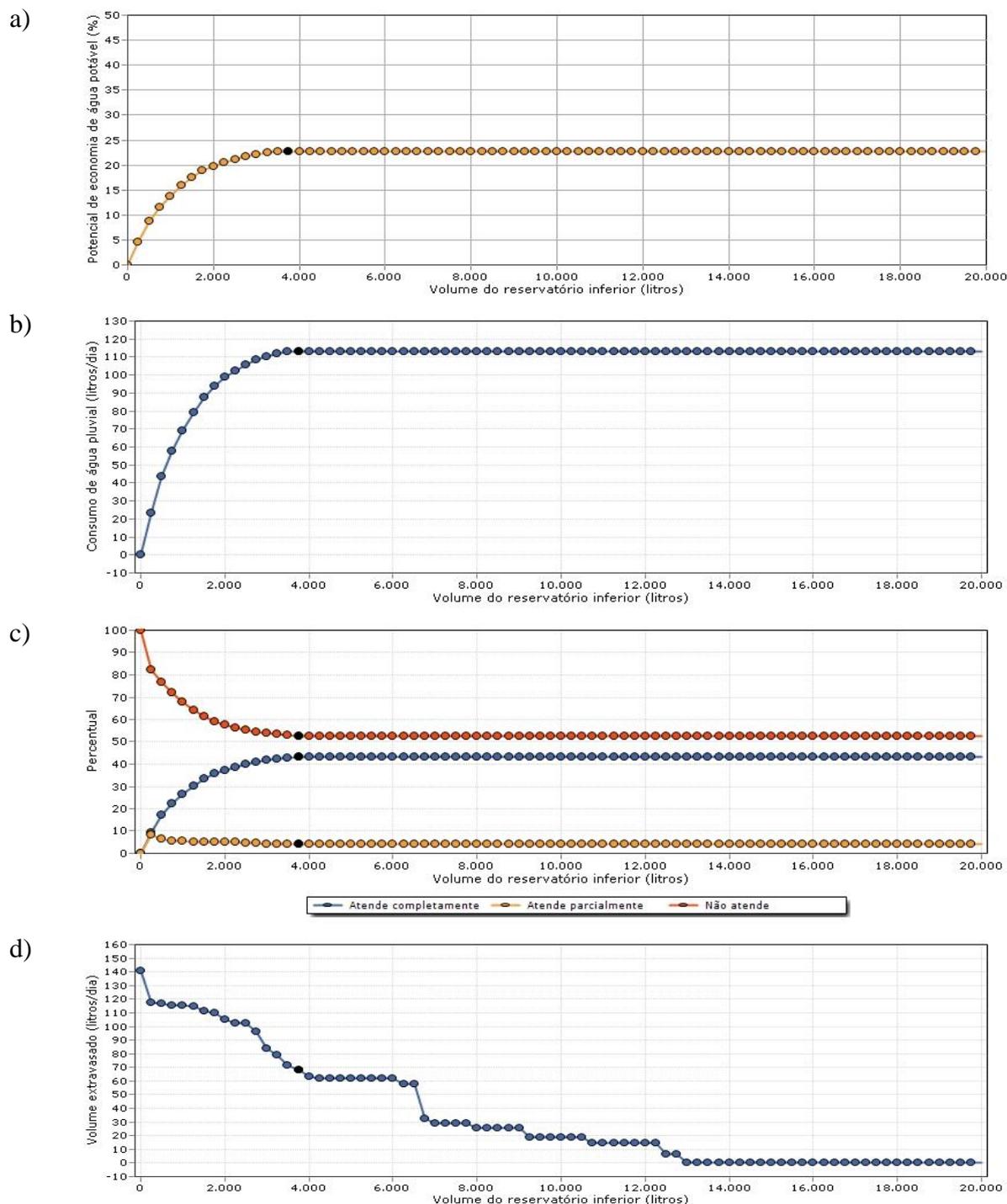


Figura 58: Extremo Menor - a) Potencial de economia de água potável; b) Consumo de água pluvial (litros/dia); c) Volume Percentual e d) Volume extravasado (litros/dia). Todos em função do Volume do reservatório inferior (litros)

Para efeito de análise e comparação, adotando-se um reservatório com volume comercial de 10.000 litros em ambos os casos, o potencial de economia seria de 47,57% e 22,67% respectivamente para o ano de 1983 e 2014, representando que ao longo do ano a demanda de água não potável dessa residência seria completamente atendida em 346 (158) dias, parcialmente atendida em 2 (15) dias e não atendida em 17 (192) dias. Em termos de consumo médio diário, um reservatório de 10.000 litros possibilita a substituição de 237,3 (113,12) litros/dia de água não potável.

Ao resumo numérico que é apresentado no Quadro 15, foi acrescentado uma linha com os valores obtidos utilizando a climatologia para efeito de comparação. Por ser tratar dos anos em que ocorreram condições extremas de índices pluviométricos, pode-se concluir que nas condições informadas na seção 4.2 e adotando-se um reservatório inferior de 10.000 litros o potencial de economia será de no máximo 47,57% e no mínimo de 22,67%, sendo que o valor de 38,24% resultado da climatologia representaria o valor esperado para o potencial de economia para essa residência.

Quadro 15: Resultados dos casos extremos e período total para um reservatório inferior de 10.000 litros.

Ano	Potencial de Economia (%)	Demanda Atendida		Demanda Não Atendida		Demanda Parcial		Consumo água pluvial Litros/dia
		%	dias	%	dias	%	dias	
1983	47,57	94,8	346	4,65	17	0,55	2	237,3
2014	22,67	43,29	158	52,6	192	4,11	15	113,2
1998-2014	38,24	75,18	274,4	22,4	81,8	2,41	8,8	190,8

4.7 Análise econômica

O software Netuno possui um módulo de análise econômica, na qual a partir das informações do custo de implantação/manutenção do sistema e do custo da água potável, estima se haverá retorno do investimento dentro de um período de, no máximo, 50 anos. A escolha de um reservatório ideal impacta diretamente sobre esse resultado.

Através deste módulo, foi feita uma análise econômica com estimativa do tempo de retorno e taxa interna de retorno e valor presente para o cenário equivalente a uma residência típica de Itajubá conforme dados descritos na seção 4.2.

Nesta análise foi utilizada a tarifa vigente conforme Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais - ARSAE-MG. A taxa de inflação utilizada foi a do mês de junho de 2017. O valor

de reajuste das tarifas de água e energia elétrica foi estimado. Os custos iniciais foram retirados do Relatório de Insumos e Composições do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI) para o estado de Minas Gerais. A Figura 59 apresenta o resultado desta análise.

The image shows two side-by-side windows from a software application. The left window, titled "Tarifas de água e esgoto", contains input fields for "Volume (m³)" (with "Entre" and "e" dropdowns and a text box containing "200"), "Custo (R\$/m³)" (with an "Adicionar" button), a list of pricing tiers (e.g., "Abaixo de 0 m³: R\$14,15 (fixo)"), radio buttons for "Tarifa de esgoto" (Fixed or Variable), a "Percentual da tarifa de água" (0,9), and fields for "Imposto fixo (R\$)" and "Imposto variável (%)". The right window, titled "Análise Econômica", shows "Volume do reservatório inferior: 5000 litros", buttons for "Definir tarifas de água e esgoto" and "Estimativas de consumo de água", "Inflação (% ao mês)" (0,38), "Reajuste das tarifas de água e energia elétrica (meses)" (12), "Período de análise (anos)" (50), "Taxa mínima de atratividade (% ao mês)" (1), and "Mês de instalação do sistema de captação de águas pluviais" (Jan). It lists "Custos iniciais" (Reservatórios / Tubulações / Mão de obra) and "Custos operacionais" (Motobomba, Manutenção / Tratamento de água / Outros). A "Calcular" button is highlighted. The results shown are: "Valor presente líquido: R\$ 287,01", "Tempo de retorno do investimento: 393 meses", and "Taxa interna de retorno: 1,05% ao mês".

Figura 59: Módulo de análise econômica do programa computacional Netuno para uma residência típica de Itajubá

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma análise do dimensionamento do volume ideal de diversas capacidades de reservatórios e do potencial de economia de água potável para diferentes casos na cidade de Itajubá – MG através de simulações utilizando o software Netuno. Inicialmente foram analisados diferentes dados de precipitação através do regime de chuvas da região, sendo, em seguida, interpretados e comparados entre si. A série correspondente do GPCP superestimou os valores de precipitação e como ela tem sua forma de apresentação com valores mensais, que para serem utilizados no programa Netuno necessitaram ser transformadas em valores diários, causando assim uma distribuição uniforme da chuva ao longo mês o que não corresponde à realidade, impactando diretamente sobre o formato inicial da curva do potencial de economia e subestimando o valor ideal do reservatório. Para as séries observadas, PCD e ANA, os resultados para esta última apresentaram melhor desempenho, além de que ela é mais longa e completa, sendo, portanto, a escolhida para utilização nos cenários.

Depois de definida a série utilizada no trabalho, neste caso, a série da ANA, as outras variáveis de entrada do *software* foram caracterizadas como demanda, número de moradores, porcentagem de substituição de água potável, para telhados convencionais e também telhados verdes. Com as variáveis caracterizadas, os potenciais de economia de água potável e a capacidade ideal do reservatório foram encontrados através das simulações. Foram obtidos valores diferentes para cada caso simulado, o que faz com que a escolha do mais adequado seja feita individualmente e deve ocorrer de acordo com os interesses finais de implantação.

Na avaliação de potencial de economia para os casos simulados, o melhor cenário foi o realizado com uma maior área de captação (150 m²), utilizando telhado convencional, com menor número de moradores (2), percentual de substituição de 50%, para um reservatório de 8750 litros. Assim, como observado, o potencial de economia atinge o valor de 50% para reservatórios com volume igual ou maior que 18.750 litros atendendo 100% da demanda de água não potável ao longo de todo ano.

No que se refere ao cenário mais desfavorável, tem-se o telhado verde, com a menor área de captação (100 m²) e maior número de moradores (4) com um percentual de substituição de 50%, e, para um reservatório de 4000 litros, tem-se um potencial de economia de 14,38%. Ainda que o aproveitamento de água pluvial não seja melhor do

que no telhado convencional, existe a vantagem no que se refere ao aspecto ambiental na utilização de telhado verde.

O aumento da área de captação provoca um aumento mais substancial no potencial de economia quando comparado ao aumento do volume do reservatório. Assim, não é justificável ter um reservatório grande se a área de coleta não tiver um tamanho adequado. Entre a escolha de um reservatório maior ou uma área de coleta maior, deve-se optar pela área de coleta maior, que proporcionará para a mesma situação o maior aproveitamento e conseqüentemente a maior economia de custo total. Para áreas de captação maiores, independente do volume do reservatório, tem-se o maior aproveitamento das águas de chuva, indicando que a variável área de captação tem maior influência na capacidade de aproveitamento de água de chuva do que o volume do reservatório.

Portanto, esse trabalho vem contribuir para a discussão referente à preservação dos recursos hídricos existentes, sendo que o sistema de aproveitamento de água pluvial deve ser incentivado, tendo em vista que é uma importante medida alternativa para preservação e gerenciamento desses recursos, beneficiando o uso de água potável no futuro.

5.1 Sugestões para trabalhos futuros.

Como sugestão para trabalhos futuros, tem-se:

- a) Realização de estudos de caso que utilizem o módulo de análise econômica;
- b) Aprofundamento dos estudos da interação entre uso e técnicas de telhado verde em sistemas de captação de águas pluviais;
- c) Aplicação deste estudo em ambientes não residenciais.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). 1989 NBR 10844 Instalações prediais de águas pluviais

ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). 2007 NBR 15527/07. Aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

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

AGÊNCIA REGULADORA DE SERVIÇOS DE ABASTECIMENTOS DE ÁGUA E DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DO ESTADO DE MINAS GERAIS- ARSAE MG. Disponível em < <http://www.arsae.mg.gov.br/>>. Acesso em <15 junho 2017>

Aquasave. Disponível em:<<http://www.aquasave.com.br/>>. Acesso em 12 jan 2017

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA- ABCMAC. Disponível em: <<http://www.abcmac.org.br/>>. Acesso em 29 out 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS – ABRH. Disponível em: <https://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/396120966aefb40c59f4e996f5ed0433_3b1c5da668bad982e566128b1558fa2d.pdf>. Acesso em: 28 maio 2015.

BALDESSAR, S. M. N. Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada Curitiba, 2012.

BOCANEGRA-MARTÍNEZ, A.; PONCE-ORTEGA, J.M.; NÁPOLES-RIVERA, F.;SERNA-GONZÁLES, M.; CASTRO-MONTOYA, A.J. Optimal design of rainwater collectin systems for domestic use into a residential development. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 84, 44–56, 2014.

BRASIL. Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21.In: Agenda 21 brasileira. Brasília: MMA, 2002. 1 CD-ROM.

CALHEIROS, H. C.; GOMES, M. R.; ESTRELLA, P. M. A. Calidad delas aguas meteóricas en la ciudad de Itajubá, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ambiente&Água**, Taubaté, v. 9, n. 2, p.336-346, 2014.

CALIL, V. S.; BERNARDI, E. C. S.; RIGHES, A. A. Impacto da utilização de telhados verdes no escoamento superficial do Arroio Esperança em Santa Maria –RS. *DisciplinarumScientia*. Série: Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 1-16, 2014.

CAMPISANO, A.; MODICA C. Optimal sizing of storage tanks for domestic rain water harvesting in Sicily. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 63, 9–16, 2012.

CANTOR, Steven L. Green Roofs in Sustainable Landscape Design. W.W. Norton & Company, New York – London, 2008.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; POSADAS, A. N. D.; QUIROZ, R.; BOOKHAGEN, B.; LIEBMANN, B. Precipitation characteristics of the South American Monsoon System derived from multiple datasets. **Journal of Climate**, v. 25, p. 4600-4620, 2012.

CAVALCANTI, I. F. A. **Tempo e clima no Brasil**, Ed. 1, [S.l.]: Editora Oficina de Textos, 2009.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. Precipitation diagnostics of an exceptionally dry event in São Paulo, Brazil 2015

COSTA, A. R. F. Limites de aplicabilidade para sistemas automáticos de descarte de água de chuva: estudo de caso, 2011.

CPTEC. Disponível em: < <http://clima1.cptec.inpe.br/evolucao/pt> >. Acesso em 12 jan 2017

DUARTE, J.L.; BLANCO, C.J.C; CARDOSO, R.N.C. Comparação de métodos para dimensionamento de Reservatório de água da chuva: Estudo de caso na Universidade Federal do Pará. 10o Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Belém, p. 1-6, 2010.

FENDRICH, R.; OLIYNIK, R. Manual de Utilização das Águas Pluviais. Livraria do CHAIN Editora, Curitiba – Paraná, 168 pp. (2002).

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU (FLL). Richtlinie für die Planung, Ausführung und Pflege von Dachbegrünungen. Bonn, 2002.

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELESWSKI, C. F. The South America Monsoon Circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 47-66, 2004.

GAN, M.; RODRIGUES, L. R.; RAO, V. B. In CAVALCANTI, I. F. *et al.* **Tempo e clima no Brasil**, Ed. 1, [S.l.]: Editora Oficina de Textos, 2009.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Determination of the onset dates of the rainy season in central Amazon with equatorially antisymmetric outgoing longwave radiation. **Theoretical and Applied Climatology**, 97, p. 361-372, 2009.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Moisture and heat budgets associated with the South American monsoon system and the Atlantic ITCZ. **Int J Climatol** 31: 2154-2167, 2011.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Some considerations on onset dates of the rainy season in Western-Central Brazil with antisymmetric outgoing longwave radiation relative to the equator. **International Journal of Climatology**, 33, p. 188-198, 2013.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Multidecadal variability of moisture and heat budgets of the South American monsoon system. **TheorApplClimatol** 121: 557-570, 2015.

GARCIA, S.R.; CALHEIROS, A.J.P.; KAYANO, M.T. Revised method to detect the onset and demise dates of the rainy season in the South American Monsoon areas. **TheorApplClimatol** 126: 481-491, 2016a.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T, Calheiros AJP, Andreoli RV, Souza RAF Moisture and heat budgets of the south American monsoon system: climatological aspects. **TheorApplClimatol**. DOI: 10.1007/s00704-015-1599-3, 2016b.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M.; ROCHA, V. L. Netuno 4.0: aproveitamento de água pluvial. Programa computacional. 2009. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/netuno>>. Acesso em: 25 maio 2015.

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

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

GLOBAL PRECIPITATION CLIMATOLOGY CENTRE- GPCP. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcp.html>>. Acesso em: 28 set. 2015.

GLOBAL PRECIPITATION CLIMATOLOGY PROJECT – GPCP. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.gpcp.html>>. Acesso em: 28 set. 2015.

GNADLINGER, J. Estratégias para uma legislação favorável à captação e manejo de água da chuva no Brasil. In: **Anais do V Simpósio Brasileiro de Captação e Armazenamento de Água de Chuva**, Petrolina, 2005.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<http://maps.google.com>> .Acesso em 28 set. 2015

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO DA ARQUITETURA – IBDA. Como reaproveitar a água da chuva. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=23&Cod=1409>>. Acesso em 25 maio 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

JENKINS, D.; PEARSON, F.; MOORE, E.; SUN, J. K.; VALENTINE, R. Feasibility of rainwater collection systems in California. Contribution n° 173. Davis: California Water Resources Centre, University of California, 1978.

KIBERT, C. J. Sustainable Construction. Green Building Design and Delivery. John Wiley e Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2008.

KNOPIK, F. Telhados verdes. Disponível em: <<http://www.arquidicas.com.br/telhados-verdes>> Acesso em 28 set. 2015.

KODAMA, Y. M. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the ZCAS). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, v. 70, n. 04, p. 813-836, Aug 1992.

KODAMA, Y. M. Large-scale common features of subtropical convergence zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the ZCAS). Part II: Conditions of the circulations for generating the STCZs. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, v. 71, n. 05, p. 581-610, Oct 1993.

KÖHLER, M. *et al.* Urban Water Retention by Greened Roofs in Temperate and Tropical Climate. *Technology Resource Management & Development – Scientific Contributions for Sustainable Development*, vol.2. p.151 - 162. In: 38th IFLA (Internacional Federation of Landscape Architects) World Congress. Singapore 2001. Disponível em: <http://www.tt.fh-koeln.de/publications/ittpub301202_10.pdf>

LIEBMANN, B.; CAMARGO, S. J.; SETH, A.; MARENGO, J. A. Onset and end of the rainy season in South America in observations and the ECHAM 4.5 atmospheric general circulation model. **Journal of Climate**, n. 20, p. 2037–2050, 2007.

MAY, S. “Prefácio”. In: TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva. São Paulo: Editora Navegar, 2003. 180pg.

MAY, S. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. São Paulo, 2004. Dissertação, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2004.

MARENGO, J. A., LIEBMANN B., GRIMM A. M., MISRA V., SILVADIAS P. L., CAVALCANTI I. F. A., CARVALHO L. M. V., BERBERY E. H., AMBRIZZI T., VERA C.S., SAULO A.C., NOGUES-PAEGLE J., ZIPSER E., SETH A., ALVES L. M. Recent developments on the South American monsoon system. **International Journal of Climatology**, 32(1), p.1–21, 2012.

NETUNO. Programa para Cálculo do Potencial de Economia de Água Tratada Utilizando Água de Chuva. Laboratório de Eficiência Energética (LabEEE). UFSC, 2004. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/software/netuno.html>>. Acesso em: 12 jan 2017.

NIEVA, A. B. G.; POZO, A. V. del. Guía de construcción sostenible. España: Instituto Sindical do Trabajo, **Paralelo Edición**, noviembre, 2005.

OHNUMA JR, A. A. Medidas não convencionais de reservação d’água e controle da poluição hídrica em lotes domiciliares. 2008. 331 p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) –Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

OLIVEIRA, S. M. Aproveitamento da água da chuva e reuso de água em residências unifamiliares: estudo de caso em Palhoça/SC. 2005. 149 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

Plataforma de Coleta de Dados – PCD - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE. Disponível em: <<http://sinda.crn2.inpe.br/PCD/SITE/novo/site/index.php>>. Acesso em: 02 nov. 2015.

PORTO, R.L., PORTO, M.F.A., PALERMO, M. A ressurreição do volume morto do Sistema Cantareira na Quaresma. **Revista DAE**, v. 62, p. 18–25, 2014.

RAMAGE, C. S. Monsoon Meteorology. Academic Press, p.269, 1971.

ROBERTSON, S. *et al.* Stanford University's Green Dorm Water System Management Project. Stanford, Califórnia, 2005

ROCHA, L. M. V.; SOUZA, L. C. L.; CASTILHO, F. J. V. Ocupação do Solo e Ilha de Calor Noturna em Avenidas Marginais a Um Córrego Urbano. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 3, p. 161-175, 2011.

ROCHA, V. L. Validação do algoritmo do Programa Netuno para a Avaliação do Potencial de Economia de Água Potável e Dimensionamento de Reservatórios de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial em Edificações. 166 f. Florianópolis, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

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

ROSENZWEIG, C.; GAFFIN, S.; PARSHALL, L. Green Roofs in the New York Metropolitan Region: Research Report. Columbia: Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies, 2006. 60 p.

RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, out./dez. 2011.

SANTOS, L.F.; GARCIA, S. R. Início e Fim da Estação Chuvosa no estado de Minas Gerais: comparação de duas metodologias diferentes. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2015. *Aceito para publicação*.

SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL – SINAPI. Disponível em <<http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>> Acesso em 15 junho 2017.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico

SNODGRASS, E. C.; McINTYRE, L. The Green Roof Manual. **A Professional Guide to Design, Installation and Maintenance**. Timber Press, Inc, 2010.

SOARES, D. A. F. *et al.* Sizing a rainwater reservoir to assist toilet flushing. In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. **Proceedings**. CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro, v.1, p.D11-1D1-12, 2000.

TOMAZ, P. Aproveitamento de Água de Chuva. Navegar Editora, 2005. 184pg.

TOMAZ, P. Aproveitamento de Água de Chuva: Para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar Editora, 2009. 180p.

TOMAZ, P. “Águas de chuva: Pesquisas, políticas e desenvolvimento sustentável.”. Simpósio Brasileiro de Captação e manejo de água de chuva. Belo Horizonte. Julho 2007.

VELOSO, N. S. L., MENDES, R. L. R. Aspectos Legais do Uso da Água da Chuva no Brasil e a Gestão dos Recursos Hídricos: Notas Teóricas. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves. Novembro 2013.

VERA, C.; HIGGINS, W.; AMADOR, J.; AMBRIZZI, T.; GARREAUD, R.; GOCHIS, D.; LETTENMAIER, D. D.; MARENGO, J.; MECHOSO, C. R.; NOGUÉS-PAEGLE, J.; SILVA DIAS, P. L.; ZHANG, C. Toward a unified view of the American Monsoon Systems. **Journal of Climate** – Special Section, v. 19, n. 20, p. 4977-5000, 2006.

WILLES, J. A. Tecnologias em telhados verdes extensivos: meios de cultura, caracterização hidrológica e sustentabilidade do sistema. Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011, 2014.

ZHOU, J. Y., LAU, K. –M. Does a monsoon climate exist over South America? **J. Climate**, v. 11, p. 1020-1040 1998.