

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E
SANEAMENTO AMBIENTAL

**APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA NO MEIO
URBANO E SEU EFEITO NA DRENAGEM PLUVIAL**

Tese de Doutorado

Fernando Dornelles

Porto Alegre, abril de 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA
NO MEIO URBANO E SEU EFEITO NA DRENAGEM PLUVIAL**

Fernando Dornelles

Orientador: Joel Avruch Goldenfum

Banca Examinadora:

Prof. André Luiz Lopes da Silveira (IPH/UFRGS)

Prof. Rutinéia Tassi (UFSM)

Prof. Nilo de Oliveira Nascimento (UFMG)

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia.

Abril de 2012

Apresentação

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Professor Joel Avruch Goldenfum da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradeço ao povo brasileiro e, em específico, à CAPES (Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por ter contemplado-me com a bolsa de estudo que possibilitou a conclusão de mais esta etapa da minha formação acadêmica.

Igualmente, agradeço aos professores do IPH que transmitiram-me valiosos ensinamentos durante meu doutorado na instituição, em especial ao meu orientador Joel Avruch Goldenfum.

Aos meus colegas de convivência no IPH, exalto as boas e frutíferas conversas que colaboraram para a elaboração deste trabalho.

O aproveitamento de água de chuva no meio urbano vem ganhando interesse por parte da sociedade devido aos benefícios que esta prática proporciona, tais como: econômico, ambiental e contra alagamentos urbanos. Este interesse pode ser percebido pelo surgimento de regulamentações governamentais e comercialização no mercado nacional de produtos específicos para a captação, tratamento e armazenamento de água.

Assim, quantificar os benefícios é um ponto chave para que o aproveitamento de água de chuva torne-se popular no ambiente urbano. Dentre os benefícios mensuráveis, a redução de alagamentos urbanos é o menos abordado, e, com frequência, para casos específicos, que não permitem a transferência dos resultados ou da metodologia de quantificação.

O presente trabalho teve como motivador a escassez de trabalhos que abordassem o efeito do aproveitamento de água de chuva na vazão da rede pluvial, que a princípio de sua concepção metodológica careceu de um método de dimensionamento que permitisse a obtenção de índices de desempenho esperados para o sistema de aproveitamento de água de chuva.

Foi proposta então, uma metodologia de dimensionamento por meio de ábacos, estes por sua vez, foram criados a partir da técnica de Monte Carlo para séries sintéticas usadas na simulação de balanço de massa no reservatório de água de chuva para a obtenção de índices de desempenho em função do volume e da demanda estimada por água não potável. Os ábacos foram produzidos para todas as capitais brasileiras mais o distrito federal como forma de verificação da sua aplicabilidade para os diversos regimes pluviométricos existentes no Brasil.

A partir do método de dimensionamento foi possível estabelecer cenários e premissas de projeto de sistemas de aproveitamento de água de chuva que, juntamente com dados observados de demandas por água para padrões de habitação popular e de classe alta no município de Porto Alegre, forneceram garantias de permanência do volume de espera para reservatórios em lotes residenciais. Os volumes de espera constituíram a condição inicial para simulação hidráulica de bacias hipotéticas com 10 e 25ha, escala compatível com a de loteamentos residenciais, porém para chuvas de projeto com duração crítica para a escala das bacias urbanas de Porto Alegre (1h).

Os resultados da simulação apontaram para uma ineficácia na redução do pico de vazão, sendo observada apenas uma pequena redução no volume do hidrograma, em que o caso de habitações padrão popular apresentou os maiores descontos (~6% para 75% de garantia).

A ineficiência em redução do pico de vazão na rede pluvial, para as características pluviométricas, de consumo e hidrológicas das bacias urbanas de Porto Alegre pode ser explicada pelo próprio propósito do aproveitamento de água de chuva que é o de apenas atender à demanda de água, não garantindo volumes de espera suficientes para causar tal efeito no pico de vazão da rede pluvial.

There is an increasing interest from the society in rainwater harvesting and use in urban areas, due to the benefits that this practice provides, such as: economic, environmental and urban flooding control. This interest may be perceived by the emergence of government regulations and increased availability of specific products in the domestic market for the capture, processing and storage of water.

Consequently, quantifying the benefits is a key element for allowing the use of rainwater to become popular in the urban environment. Among the measurable benefits, the use of rainwater as a contribution to the reduction of urban flooding is the least discussed; when available, the results are often valid only for specific cases, do not allowing their generalization and application to different scenarios and configurations.

The present work was motivated by the scarcity of studies that addressed the effect of the use of rainwater in the reduction of urban runoff, and the lack of design methods that could allow the estimation of performance indicators for the rainwater harvesting and use systems.

A graphical design method (using abacuses) is proposed. Abaci were created from the application of the Monte Carlo technique, applied to synthetic series used in the mass balance simulation of rainwater reservoirs, to obtain performance indices as function of the volume and the estimated demand for non-potable water. The abaci were produced for all Brazilian capitals and also the Federal District, in order to verify their applicability to different rainfall regimes existing in Brazil.

The use of the graphical design method allowed creating different scenarios and assumptions for designing systems for rainwater use. The combination of these scenarios with observed data of water demand, applied to two different urbanization patterns (low income dwellings and upper class habitation), in the municipality of Porto Alegre, allowed the assessment of the probability of different retention volumes for reservoirs in residential lots. The expected volumes constituted the initial condition for hydraulic simulation of hypothetical watersheds with 10 and 25ha, scale compatible with the residential subdivisions of urban catchments in Porto Alegre, using critical rain durations (1h).

The simulation results implied an ineffectiveness in reducing the peak flow, as only a small reduction in the volume of the hydrograph was obtained, with the higher reduction (~ 6% to 75% guarantee) observed for the low-income dwellings.

The inefficiency in reducing the peak flow for the rainfall and consumption Porto Alegre characteristics, as well the hydrological characteristics of their urban watersheds, can be explained by the purpose of the rainwater harvesting that is the only meet the demand for water, not ensuring sufficient available volume to cause such effect on the peak flow in the conducts.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Contextualização do Tema.....	1
1.2	Objetivos.....	3
2	Aproveitamento da Água de Chuva	4
2.1	Uso de Água de Chuva	4
2.1.1	Histórico	4
2.1.2	Cenário Atual.....	5
2.1.3	Benefícios: Econômicos, Ambientais e à Drenagem Pluvial.....	8
2.1.4	Restrições à Implementação	16
2.2	Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva	20
2.2.1	Descrição Geral.....	20
2.2.2	Área de Captação de Água de Chuva	22
2.2.3	Condução para Armazenamento e Pré-tratamento	24
2.2.4	Armazenamento	26
2.2.5	Usos e Demandas.....	27
2.3	Regulamentações: Leis, Normas e Decretos.....	29
2.3.1	A Regulamentação do Aproveitamento de Água de Chuva	29
2.3.2	Exemplos de Regulamentação Implantada no Brasil.....	30
2.3.3	Exemplos de Regulamentação Implantada em Outros Países	33
2.4	Aspectos Qualitativos	34
2.4.1	Qualidade da Água em Sistemas de Aproveitamento de Chuva.....	34
2.4.2	Tratamento da Água de Chuva Armazenada	35
2.5	Métodos Correntes de Dimensionamento do Reservatório de Armazenamento.....	36
2.5.1	Métodos Práticos	36
2.5.2	Método Estatístico	37
2.5.3	Métodos de Simulação.....	37
2.5.4	Seleção do Método de Dimensionamento.....	39
2.6	Recontextualização com o Tema de Pesquisa e Organização do Trabalho	39
3	Metodologia	41
3.1	Descrição Geral.....	41
3.2	Ábacos de Dimensionamento para as Capitais Estaduais do Brasil	42
3.2.1	Seleção dos Dados Pluviométricos	42
3.2.2	Séries Sintéticas de Precipitação.....	43
3.2.3	Simulação do Reservatório de Aproveitamento de Água de Chuva.....	53
3.2.4	Método de Monte Carlo	53

3.2.5	Geração dos Ábacos para Dimensionamento de Reservatório de Aproveitamento de Água de Chuva.....	55
3.3	Efeito do Aproveitamento de Água de Chuva na Rede de Drenagem Pluvial.....	57
3.3.1	Estratégia para Quantificação do Efeito na Rede de Drenagem Pluvial.....	57
3.3.2	Demanda de Água em Porto Alegre	58
3.3.3	Séries Sintéticas de Demanda	62
3.3.4	Lotes e Blocos de Lotes e Bacias Hipotéticas	63
3.3.5	Dimensionamento dos Reservatórios.....	66
3.3.6	Curvas de Permanência do Volume de Espera	66
3.3.7	Simulação Hidrológica/Hidráulica	67
4	Resultados e Produtos	73
4.1	Ábacos para Dimensionamento do Reservatório para Aproveitamento de Água de Chuva.....	73
4.1.1	Análise de qualidade das séries sintéticas.....	73
4.1.2	Fichas para Dimensionamento do Reservatório de Aproveitamento de Água de Chuva	75
4.1.3	Instruções para Dimensionamento do Reservatório de Água de Chuva.....	79
4.2	Efeito do Aproveitamento de Água de Chuva na Drenagem Pluvial.....	81
4.2.1	Dimensionamento dos Reservatórios de Aproveitamento de Água de Chuva	81
4.2.2	Volumes de Espera	82
4.2.3	Hidrogramas de Projeto	87
4.2.4	Simulação Hidráulica.....	93
5	Conclusões	108
5.1	Ábacos para Dimensionamento do Reservatório para Aproveitamento de Água de Chuva.....	108
5.2	Efeito na Vazão da Rede Pluvial	110
6	Recomendações para Trabalhos Complementares	113
7	Referências Bibliográficas	115
	ANEXO 1 – Demandas para consumos de água.....	122
	ANEXO 2.....	133
	ANEXO 3.....	136
	ANEXO 4.....	138

Lista de figuras

Figura 1 – Benefício econômico e nível de atendimento em função da demanda	10
Figura 2 – Benefício econômico e custo de construção em função da capacidade de reservação	11
Figura 3 – Benefício econômico e nível de atendimento à demanda em função da área de captação ...	11
Figura 4 – Ilustrações de Kobyama (2002) enfatizando a educação ambiental para crianças	12
Figura 5 - Regime pluviométrico e reduções dos volumes lançados à rede pluvial (Zhang <i>et al</i> , 2009)	14
Figura 6 – Volumes extravasados para condições de demandas e volumes de reservação (Herrmann e Schmida, 1999)	15
Figura 7 – Relação dos volumes extravasados em relação à demanda e à capacidade do reservatório .	15
Figura 8 – Esquemática de um sistema de aproveitamento de água de chuva e seus fluxos de água (Cheng (2000) <i>apud</i> May (2004))	20
Figura 9 – Sistemas de aproveitamento de água de chuva quanto seus fluxos e destinações (adaptado de Herrmann e Schmida, 1999).....	21
Figura 10 – Exemplo de funcionamento de um sistema de aproveitamento de água de chuva combinado com abastecimento de água potável	22
Figura 11 – Áreas de captação de água de chuva.....	23
Figura 12 – Caixa de areia para filtragem da água chuva captada em telhados	25
Figura 13 – Reservatório de pré-tratamento por descarte do escoamento inicial.....	25
Figura 14 – Consumo de água tratada em função da renda per capita em Belo Horizonte.....	28
Figura 15 – a) Aproveitamento máximo - b) Aproveitamento aquém do máximo	38
Figura 16 – Fluxograma das etapas metodológicas.....	42
Figura 17 – Pulsos característicos de uma série de precipitação (adaptado de: Kilsby <i>et. al.</i> , 2007).....	43
Figura 18 – Histograma de frequência de precipitações em Cascavel/PR (Pedron e Klosowski, 2008).....	44
Figura 19 – Regiões homogêneas quanto à precipitação (Baena <i>et. al.</i> 2005).....	44
Figura 20 – Zona com geração de valores de precipitação sintética negativa.....	47
Figura 21 – Efeito da alteração do parâmetro auxiliar <i>A</i>	48
Figura 22 – Efeito da alteração do parâmetro auxiliar <i>B</i> nas precipitações médias mensais	49
Figura 23 – Nível de atendimento à demanda em função do tamanho das séries sintéticas	50
Figura 24 – Fluxos do balanço de massa para a simulação do sistema de aproveitamento de água de chuva	53
Figura 25 – Processo de obtenção das curvas dos ábacos de dimensionamento para reservatório de aproveitamento de água de chuva	56
Figura 26 – Locais da amostragem do consumo de água tratada	58
Figura 27 – Lotes amostrais e padrão de urbanização da amostra 1 (população com alta renda e lotes com 360m ²)	59
Figura 28 – Consumo mensal para amostra 1 (população classe alta e lotes com 360m ²)	59

Figura 29 – Lotes amostrais e padrão de urbanização da amostra 2 (população com baixa renda e lotes com 70m ²)	60
Figura 30 – Consumo mensal para amostra 2 (população com baixa renda e lotes com 70m ²).....	60
Figura 31 – Criação de séries sintéticas de consumo total de água para cada unidade consumidora	63
Figura 32 – Lotes padrão para classe alta e popular e a composição de áreas por tipo de cobertura.....	64
Figura 33 – Blocos de lotes padrão para classe alta e popular e a composição de áreas por tipo de cobertura.....	64
Figura 34 – Bacias hipotéticas formadas pelos blocos de lotes padrão (classe alta e popular) e para áreas de 10 e 25ha	65
Figura 35 – curva de permanência do volume de espera do reservatório de aproveitamento de água de chuva.....	67
Figura 36 – Hidrograma unitário triangular do SCS	68
Figura 37 – Composição do hidrograma resultante de um bloco de lotes hipotéticos	70
Figura 38 – Mapa de declividade da mancha urbana de Porto Alegre	72
Figura 39 – Página 1 da ficha de dimensionamento para reservatório de aproveitamento de água de chuva	76
Figura 40 – Página 2 da ficha de dimensionamento para reservatório de aproveitamento de água de chuva	77
Figura 41 - Página 3 da ficha de dimensionamento para reservatório de aproveitamento de água de chuva	78
Figura 42 – Busca da área de captação de chuva necessária (dimensionamento de reservatório pelo caso 3)	80
Figura 43 – Resultados do dimensionamento dos reservatórios pelos ábacos para as premissas estabelecidas.....	82
Figura 44 – Curvas de permanência para bloco de lotes padrão classe alta.....	83
Figura 45 – Curvas de permanência para bloco de lotes padrão popular	84
Figura 46 – Média e desvio padrão por janela móvel de 31 dias da precipitação do dia chuvoso.....	86
Figura 47 – Hidrograma para Tr=2 anos: precipitação total e efetiva	87
Figura 48 – Hidrograma para Tr=5 anos: precipitação total e efetiva	88
Figura 49 - Hidrograma de saída concentrada do bloco padrão classe alta sem aproveitamento de água de chuva	89
Figura 50 - Hidrograma de saída concentrada do bloco padrão popular sem aproveitamento de água de chuva	89
Figura 51 – Hidrogramas concentrados para bloco padrão classe alta para Tr=2anos e permanência de 75%	90
Figura 52 – Hidrogramas concentrados para bloco padrão classe alta para Tr=5anos e permanência de 75%	90

Figura 53 - Hidrogramas concentrados para bloco padrão popular para Tr=2anos e permanência de 75%	91
Figura 54 – Hidrogramas concentrados para bloco padrão popular para Tr=5anos e permanência de 75%	91
Figura 55 - Hidrogramas concentrados para bloco padrão popular para Tr=2anos e permanência de 90%	92
Figura 56 - Hidrogramas concentrados para bloco padrão popular para Tr=5anos e permanência de 90%	92
Figura 57 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 10ha, NA=50% e CP=75%	95
Figura 58 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=2anos, 10ha, NA=50% e CP=75%	95
Figura 59 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 10ha, NA=70% e CP=75%	95
Figura 60 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=2anos, 10ha, NA=70% e CP=75%	96
Figura 61 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 10ha, NA=70% e CP=90%	96
Figura 62 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 10ha, NA=80% e CP=75%	96
Figura 63 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=2anos, 10ha, NA=80% e CP=75%	97
Figura 64 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 10ha, NA=80% e CP=90%	97
Figura 65 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 25ha, NA=50% e CP=75%	97
Figura 66 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=2anos, 25ha, NA=50% e CP=75%	98
Figura 67 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 25ha, NA=70% e CP=75%	98
Figura 68 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=2anos, 25ha, NA=70% e CP=75%	98
Figura 69 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 25ha, NA=70% e CP=90%	99
Figura 70 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 25ha, NA=80% e CP=75%	99
Figura 71 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=2anos, 25ha, NA=80% e CP=75%	99
Figura 72 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 25ha, NA=80% e CP=90%	100
Figura 73 – Hidrograma bacia padrão popular – Tr= 5anos, 10ha, NA=50% e CP=75%	100
Figura 74 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 10ha, NA=50% e CP=75%	100
Figura 75 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 10ha, NA=70% e CP=75%	101
Figura 76 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 10ha, NA=70% e CP=75%	101
Figura 77 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 10ha, NA=70% e CP=90%	101
Figura 78 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 10ha, NA=80% e CP=75%	102
Figura 79 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 10ha, NA=80% e CP=75%	102
Figura 80 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 10ha, NA=80% e CP=90%	102
Figura 81 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 25ha, NA=50% e CP=75%	103
Figura 82 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 25ha, NA=50% e CP=75%	103
Figura 83 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 25ha, NA=70% e CP=75%	103
Figura 84 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 25ha, NA=70% e CP=75%	104
Figura 85 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 25ha, NA=70% e CP=90%	104
Figura 86 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 25ha, NA=80% e CP=75%	104

Figura 87 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 25ha, NA=80% e CP=75%	105
Figura 88 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 25ha, NA=80% e CP=90%	105

Lista de tabelas

Tabela 1 – Precipitação média anual de alguns locais citados na bibliografia.....	7
Tabela 2 – Coeficientes de escoamento para telhados	24
Tabela 3 – Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos não potáveis (ABNT 2007).....	35
Tabela 4 – Consumos mensais médios e desvio padrão dos 30 lotes da amostra 1	59
Tabela 5 - Consumos mensais médios e desvio padrão dos 30 lotes da amostra 2	60
Tabela 6 – Relação de número de blocos e lotes por bacia hipotética e para cada amostra.....	64
Tabela 7 – Durações da chuva de projeto adotados no PDDUr de Porto Alegre para algumas de suas bacias urbanas	71
Tabela 8 – Critérios e cenários arbitrados para simulações hidrológica/hidráulica	72
Tabela 9 - Índices numéricos de qualidade das séries sintéticas	74
Tabela 10 – Resultados do dimensionamento dos reservatórios pelas tabelas para as premissas estabelecidas.....	81
Tabela 11 – Volumes de espera por bloco de lotes para os distintos cenários e premissas	85
Tabela 12 – Volumes de espera em termo de lâmina de chuva para os distintos cenários e premissas	85
Tabela 13 – Percentuais mensais de dias chuvosos.....	86
Tabela 14 – Laminas totais e efetivas dos hietogramas de projeto	87
Tabela 15 – Tempos de concentração e parâmentos adotados.....	88
Tabela 16 – Combinações dos cenários e premissas utilizados nas simulações e figura com o respectivo hidrograma	94
Tabela 17 – Volumes dos hidrogramas no exutório das bacias hipotéticas e a redução percentual causada pelos reservatórios de aproveitamento de água de chuva.....	106

Lista de Símbolos

α	nível de significância
A	área de captação de chuva (m ²)
A_{imp}	fração da área impermeável da bacia de contribuição
c	coeficiente de escoamento (adimensional)
cd	coeficiente de descarte do filtro de pré-tratamento (adimensional)
D	demanda de água (L/dia)
D_u	demanda unitária indexado pela área de captação (L/dia.m ²)
E	extravasamento percentual do reservatório de água de chuva
g	coef. de assimetria da soma móvel de 30 dias da precipitação total diária
I	declividade média do talvegue (m/m)
μ	média da soma móvel de 30 dias da precipitação total diária (mm)
L	comprimeto do talvegue (km)
M	matriz de mudança de estados de uma cadeia de Markov
N	tamanho da série temporal de simulação do reservatório
N_1	tamanho da primeira subamostra da série temporal de simulação do reservatório para o teste de homogeneidade
N_2	tamanho da primeira subamostra da série temporal de simulação do reservatório para o teste de homogeneidade
NA	nível de atendimento à demanda por água não potável pelo sistema de aproveitamento de água de chuva
p	probabilidade de transição de estado em uma cadeia de Markov
p_e	probabilidade/percentual do volume de espera ser maior ou igual a determinado volume
P	precipitação (mm)
P'	precipitação diária sintética (mm)
s	desvio padrão da soma móvel de 30 dias precipitação total diária (mm)
S	volume de água no reservatório de armazenamento de água de chuva (m ³)
S_e	volume de espera nos reservatórios (m ³)
tc	tempo de concentração da bacia (h)
td	duração da precipitação (h)

te	tempo de recessão do hidrogram, entre o pico e o término do escoamento superficial (h)
tp'	tempo entre o início do escoamento superficial e o pico do hidrograma (h)
Tr	período de retorno, ou recorrência (anos)
US\$	dólar moeda corrente nos Estados Unidos da América
V	volume do reservatório de armazenamento de água de chuva (L)
V_{AT}	volume consumido de água tratada em uma unidade consumidora (L)
V_{AC}	volume consumido de água de chuva em uma unidade consumidora (L)
V_e	volume de espera, volume livre no reservatório de água de chuva (L)
V_E	volume extravasado (L)
V_R	capacidade do reservatório de armazenamento de água de chuva (L)
V_u	volume unitário do reservatório de água de chuva ($L.m^{-2}$)
x'	variável aleatória normal padronizada, adimensional
X	variável discreta genérica
Z	variável reduzida da distribuição normal

Lista de Siglas e Acrônimos

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AWWA	American Water Works Association
CESAMA	Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora/MG
DMAE	Departamento de Água e Esgoto de Porto Alegre
DDT	Pesticida Dicloro-Difenil-Tricloroetano
EUA	País: Estados Unidos da América
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SAAEJ	Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jaboticabal/SP
<i>SWMM</i>	<i>Storm Water Management Model</i> programa computacional de simulação hidro-hidráulica desenvolvido pela EPA (<i>Environmental Protection Agency - USA</i>).

1 Introdução

1.1 Contextualização do Tema

A sobrevivência de qualquer ser no planeta Terra é intrinsecamente ligada à utilização dos recursos naturais disponíveis. A espécie humana (*homo sapiens*), que por mérito de sua evolução cognitiva se posicionou no topo da cadeia alimentar ao dominar as demais espécies e utilizar os recursos naturais a seu favor, busca atender seus anseios por fartura de alimento e conforto.

Ao se organizar em sociedade, o homem buscou aperfeiçoar e ampliar o uso dos recursos naturais, criando relações de trabalho e comércio, e acelerando, assim, a sua busca por fartura e conforto. A denominada Revolução Industrial é o marco deste aperfeiçoamento e ampliação do uso dos recursos naturais, pois nesta época iniciou-se a mecanização da exploração em grande escala dos recursos naturais.

Aliados aos avanços das técnicas de exploração dos recursos naturais houve, durante a Revolução Industrial, importantes avanços nas áreas de comunicação, medicina, transporte e engenharia em geral. Isso fez com que iniciasse o processo de urbanização percebido no crescimento das cidades.

O novo estilo urbano de vida exigiu que fossem criadas maneiras de levar os recursos naturais, entre eles a água, até os habitantes. Não era mais possível que cada habitante tivesse o seu poço, ou que fosse até um manancial hídrico coletar a água necessária para atender a sua demanda, fazendo com que surgissem os primeiros sistemas de abastecimento de água.

As estratégias, ou a falta delas, para o desenvolvimento das cidades criaram um cenário insustentável, onde tanto o aumento do consumo dos recursos naturais, quanto a expansão territorial desordenada, estavam degradando o meio ambiente, gerando situações até então não observadas, como poluição dos rios e do ar, epidemia de doenças, alagamentos e problemas de trafegabilidade (engarrafamentos). Dada esta situação, na década de 1960, surgiram os primeiros movimentos ambientalistas, catapultados pelos alertas de Rachel Carson, em 1962, sobre os efeitos do pesticida “DDT” ao meio ambiente e de Paul R. Ehrlich, em 1968, com o livro “*The Population Bomb*” sobre a explosão demográfica global e seus efeitos ao meio ambiente.

Outro grande colaborador com esta nova abordagem da relação homem-ambiente foi Ian L. McHarg, que, em 1969, escreveu o livro *Design with Nature* (McHarg, 1971), onde sugere técnicas não convencionais para a época, visando preservar o ambiente, ao mesmo tempo em que o espaço era ocupado pelo homem. A publicação de McHarg pode ser considerada um marco do movimento ambientalista e da arquitetura paisagística, sendo reimpresso e, também, revisto por outros autores em diversas ocasiões até o momento.

As idéias ambientalistas, até então expressas basicamente de forma literária, tiveram a oportunidade de serem expostas e discutidas presencialmente na I Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo no ano de 1972. Desta, seguiram-se diversos outros encontros, conferências e posicionamentos formais de entidades internacionais. A partir de então, iniciou-se uma nova era, em que, lentamente, foi sendo alterada a maneira de gerenciar os recursos naturais e o meio ambiente, passando por diversos tópicos modais, tais como: a guerra aos agrotóxicos, a descoberta das falhas na camada de ozônio, o desmatamento, a instituição dos direitos dos animais, o lixo nuclear, sustentabilidade ambiental e, mais recentemente, o aquecimento global/mudança climática.

A atitude ambientalista está em pauta contínua, em praticamente todos os setores da sociedade, e o abastecimento de água e a drenagem urbana pluvial não são exceções.

No que diz respeito à tendência ambientalista na gestão da água no meio urbano, podemos citar como as ações mais importantes:

- utilização racional da água;
- a redução do seu consumo;
- tratamento dos efluentes;
- renaturalização dos cursos d'água degradados;
- controle na fonte do escoamento superficial das águas de chuva.

Dentro do intuito das ações supracitadas está o aproveitamento de água de chuva, que é indicado como uma medida no sentido de reduzir os volumes captados das fontes tradicionais de abastecimento, conseqüentemente preservando-as. Além deste benefício, o aproveitamento de água de chuva é citado como uma medida de controle dos alagamentos, já que parte da água que seria destinada à rede pluvial é desviada para um reservatório de armazenamento, ficando esta água disponível para consumo.

No entanto, algumas questões ainda em aberto podem ser proferidas a respeito dos métodos de dimensionamento do reservatório de armazenamento da água de chuva e da sua efetiva contribuição na redução dos alagamentos.

Sobre a questão do dimensionamento do reservatório de armazenamento de água de chuva, podemos avaliar a validade das recomendações existentes, e se são aplicáveis em todo território brasileiro, já que este, com proporções continentais, é detentor de um conjunto variado de regimes pluviométricos, influenciados pelo clima e pelo relevo.

A contribuição na redução dos alagamentos é um pouco controversa visto que o objetivo por um lado é manter o reservatório a maior parte do tempo com algum volume de água para atender a demanda de seu uso na edificação, e por outro lado, para amortecer os picos de vazão lançados à rede de drenagem, ele deveria estar sempre vazio (ou manter um volume de espera).

Para a adoção do aproveitamento de água de chuva como uma medida, de fato, contribuinte à redução dos alagamentos, é fundamental mensurar o efeito sinérgico sobre o sistema de drenagem pluvial público da utilização em massa de sistemas de aproveitamento de água de chuva, ao definir uma metodologia padrão de dimensionamento para o reservatório de armazenamento.

1.2 Objetivos

As tendências do uso racional da água, utilização de fontes alternativas de abastecimento de água, e o problema dos alagamentos urbanos são motivos para a popularização do aproveitamento de água de chuva no meio urbano.

Os benefícios econômicos e ambientais que a adoção em massa do aproveitamento de água de chuva gera são evidentes, e são temas abordados amiúde por diversos pesquisadores; no entanto, os impactos na drenagem urbana pluvial foram pouco investigados até o momento, apesar de serem citados com frequência como sendo uma das medidas de redução dos alagamentos nas cidades (May, 2004) (Mano, 2004) (Filho e Moreira, 2005) (Tucci, 2005) (Zhang *et al*, 2009) (Shaaban e Appan, 2003) (Vaes e Berlamont, 2001) (Herrmann e Schmida, 1999) (Fendrich, 2009).

Visto que o efeito do aproveitamento de água de chuva na drenagem urbana pluvial é, ainda, uma questão não bem respondida, este trabalho tem por objetivo principal verificar se a utilização de sistemas de aproveitamento de água pluvial tem efeito significativo na redução de alagamentos urbanos, mesmo que estes sistemas sejam dimensionados exclusivamente para o consumo da água armazenada, verificação esta a ser realizada a partir de simulação matemática aplicada a uma rede de drenagem urbana pluvial.

Outros objetivos a serem atingidos com o presente trabalho são:

- Desenvolver uma metodologia de dimensionamento de reservatórios para armazenar água de chuva, e verificar se esta permite obter o volume necessário para o armazenamento de modo facilitado, e com fornecimento de índices de desempenho do sistema de aproveitamento de água de chuva;
- Verificar se a utilização do aproveitamento de água de chuva apresenta variabilidade significativa da sua influência na vazão da rede pluvial para diferentes padrões de habitação quando o emprego do aproveitamento estas reduções são obtidas é massificado;

2 Aproveitamento da Água de Chuva

2.1 Uso de Água de Chuva

2.1.1 Histórico

O aproveitamento de água de chuva é uma técnica para suprir a demanda de água das atividades humanas conhecida há milênios. A data em que esta técnica surgiu não é conhecida com exatidão; existem registros que evidenciam a existência de estruturas para armazenamento de água de chuva anteriores a 3.000 a.C., sendo encontradas em diversos locais, incluindo o deserto de Negev em Israel, Índia, Grécia, Itália, Egito, Turquia e México (Krishna *et al*, 2002).

A história da humanidade é fortemente influenciada pela sua demanda por água. Com o abandono do hábito nômade, de coleta e caça, surgiu a agricultura e o convívio em comunidades, e sendo este um estilo de vida mais sedentário, soluções para mais bem atender às novas necessidades (preparo de alimentos, limpeza, evacuação de dejetos e irrigação) tiveram de ser criadas, como captação, armazenamento e canalização, constituindo os primeiros sistemas de abastecimento coletivo (Heller e Pádua, 2006).

Um exemplo interessante na América do Sul, descrito por Heller e Pádua (2006), é o do povo Inca, ocupantes dos Andes peruanos na América pré-colombiana. Os Incas utilizavam reservatórios de água e sistemas de banho, para os quais a água era conduzida através de condutos perfurados em rocha. Heller e Pádua (2006) descrevem, ainda, que este povo tinha uma cerimônia de limpeza influenciada por crenças divinas em que, a princípio da estação chuvosa, efetuavam uma limpeza das moradias e dos espaços públicos, sendo este um caso onde a religião contribui efetivamente para a prosperidade e o bem estar de uma sociedade.

Vemos que o desenvolvimento de sistemas de abastecimento foi necessário a partir de quando o homem passou a viver em aglomerados urbanos, pois o adensamento de pessoas exigiu alguma garantia de atendimento, tanto de quantidade, quanto de qualidade da água fornecida à população. Hoje em dia isso ocorre sem que muitos dos consumidores saibam que a água teve origem a quilômetros de distância, e que passou por um complexo tratamento (Dacach, 1979).

O grande impulso para a massificação dos sistemas de abastecimento foram os alertas de duas autoridades médicas para as doenças de veiculação hídrica. Em meados do século XVII, o Dr. John Snow acertadamente publicou a pesquisa intitulada *Great Sanitary Awakening* (Grande Despertar Sanitário) onde alertava para a relação entre a poluição fecal na água de abastecimento e a epidemia de cólera, e, ao final do século XVII, o Dr. William Budd investigou o modo de disseminação e a prevenção da febre tifóide que, assim como a cólera, está relacionada com o controle sanitário. Assim, para um melhor controle sanitário os sistemas de abastecimento foram, em grande maioria, encampados pelas municipalidades locais, pois o abastecimento de água passou a ser visto como um

problema de saúde pública. Critérios de potabilidade passaram a vigorar, os próprios consumidores passaram a rejeitar a água que apresentasse turbidez, cor, cheiro e gosto (Fair *et al*, 1966).

A demanda crescente e os critérios de potabilidade adotados influenciaram os sistemas de abastecimento de água a captarem de mananciais superficiais (rios, lagos e reservatórios) e de fontes subterrâneas (aquíferos). Assim, foi deixada em segundo plano, e até mesmo desincentivada, a captação de água de chuva, como verificado na publicação de Netto *et al* (1973), onde esta fonte é indicada apenas em caso de extrema necessidade, mesmo no meio rural e para edificações isoladas.

Conforme relatado por Fair *et al* (1966), o aproveitamento de água de chuva raramente é utilizado nos sistemas públicos de abastecimento de água sendo mais freqüente em propriedades rurais e comunidades isoladas, ou ainda em regiões semi-áridas que tem pouca disponibilidade hídrica.

A mudança global do paradigma de exploração dos recursos naturais iniciada na década de 1960, que incitava a exploração e o uso racional dos recursos naturais, influenciou também no abastecimento de água, como é verificado nas ações de uma das mais antigas entidades de promoção da pesquisa e educação a este respeito do uso da água, a AWWA (*American Water Works Association*) que desde a década de 1990 sugere uma gestão bilateral, que analisa tanto o suprimento, quanto a demanda de água, assim, a gestão bilateral incentiva o fornecimento eficiente e a redução do consumo (Tomaz, 2003).

Uma alternativa que passou a ser adotada foi o aproveitamento de água de chuva para a redução do consumo no meio urbano, especialmente para fins não potáveis. Conforme Tomaz (2003) a captação da água que precipita nos telhados e lajes de cobertura reduz em até 30% o consumo da água proveniente do sistema de abastecimento.

Assim, ao longo da história da humanidade o abastecimento de água por captação da chuva coexistiu com as captações de águas superficiais e subterrâneas, tendo uma fase de redução que foi revertida devido às novas tendências da gestão dos recursos hídricos que começou a atentar para a problemática ambiental.

2.1.2 Cenário Atual

A utilização de sistemas de aproveitamento de água de chuva, atualmente, apresenta uma tendência de crescimento impulsionada pela abordagem ambientalista, que visa incutir a sustentabilidade ambiental em praticamente todas as atividades antrópicas.

Conferindo apoio a essa tendência, muitos programas, entidades, instrumentos administrativos e organizações, foram criados com o intuito de incentivar e divulgar o conceito de sustentabilidade ambiental.

É conveniente definir o termo sustentabilidade ambiental ao fazer uso dele, pois conforme Bellen (2005) existem diversas definições para este termo, sendo a pioneira discutida em 1980 pela *International Union for the World Conservation of Nature and Natural Resources* no documento intitulado *World's Conservation Strategy*, que não incorporava explicitamente o elemento humano.

A partir desta definição de sustentabilidade ambiental, lançada em 1980, surgiram diversas outras, sendo apontado por alguns autores o total de até 160 definições o que torna este termo bastante dúbio. No entanto, as definições comumente mais citadas e aceitas são apresentadas no Relatório Brundtland de 1987 e na “Agenda 21” que, sucintamente dizem:

“Desenvolvimento Sustentável é satisfazer as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (Bellen, 2005).

A referida “Agenda 21” é hierarquizada em 3 níveis (MMA, 2010):

Agenda 21 Global: um programa de ação baseado num documento de 40 capítulos, que constitui a mais abrangente tentativa já realizada de promover, em escala planetária, um novo padrão de desenvolvimento, denominado “desenvolvimento sustentável”. O termo “Agenda 21” foi usado no sentido de intenções, desejo de mudança para esse novo modelo de desenvolvimento para o século XXI.

Agenda 21 Nacional (Brasileira): é um processo e instrumento de planejamento participativo para o desenvolvimento sustentável e que tem como eixo central a sustentabilidade, compatibilizando a conservação ambiental, a justiça social e o crescimento econômico. O documento é resultado de uma vasta consulta à população brasileira, sendo construída a partir das diretrizes da Agenda 21 global.

Agenda 21 Local: é um instrumento de planejamento de políticas públicas que envolve tanto a sociedade civil e o governo em um processo amplo e participativo de consulta sobre os problemas ambientais, sociais e econômicos locais e o debate sobre soluções para esses problemas através da identificação e implementação de ações concretas que visem o desenvolvimento sustentável local.

A Agenda 21 no seu Capítulo 18 – Item 18.50 menciona que todos os Estados, segundo sua capacidade e recursos disponíveis e por meio de cooperação bilateral ou multilateral, inclusive as Nações Unidas e outras organizações pertinentes, quando apropriado, podem implementar a expansão do abastecimento hidráulico urbano e rural e estabelecimento e ampliação de sistemas de captação de água da chuva, particularmente em pequenas ilhas, acessórios à rede de abastecimento de água. (MMA, 2010)

O aproveitamento de águas pluviais se relaciona com a sustentabilidade ambiental devido a esta ser uma fonte alternativa e eficiente para abastecimento de água. Pompêo (2000) afirma que a

sustentabilidade aponta à reintegração da água ao meio urbano, trabalhando junto ao ciclo hidrológico, observando aspectos ecológicos, ambientais, paisagísticos e as oportunidades de lazer.

Concomitante com o surgimento do conceito de desenvolvimento ambiental sustentável surgiu na Alemanha em 1980 o incentivo à utilização de águas de menor qualidade para aqueles usos considerados menos nobres: descarga de bacias sanitária, rega de jardim e lavagem de veículos e pátios. Assim, naturalmente, surgiu um novo mercado para a produção e comercialização de equipamentos específicos para a coleta, tratamento e armazenamento de água de chuva (Herrmann e Schmida, 1999).

Ao analisar-se a frequência de exemplos e pesquisas publicadas que tratam do tema aproveitamento de água de chuva podemos destacar a Alemanha, o Japão e os Estados Unidos como sendo os países com maior índice de utilização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Mas esta situação está sendo alterada, ao passo que, com facilidade, é possível encontrar publicações de manuais e guias produzidos pelas municipalidades locais em diversos outros países, quase sempre em conjunto com planos de desenvolvimento urbano.

Boa parte dos exemplos de utilização de aproveitamento de água de chuva publicados concentra-se em regiões com precipitações anuais baixas, quase sempre inferiores a 1.000mm por ano (Tabela 1).

Tabela 1 – Precipitação média anual de alguns locais citados na bibliografia

Cidade / País	Precipitação Média Anual (mm)	Referência
Tucson / Arizona / EUA	280	Waterfall, 1998
Província de Gansu - China	300	UNEP, 2002
Norkköping / Suécia	508	Villareal e Dixon, 2005
Greenwich / Inglaterra	612,5	Chilton et al, 1999
Bochum / Alemanha	787	Herrmann e Schmida, 1999
Irlanda	800	McCarton, 2009
Austin / Texas / EUA	810	Tomaz, 2003
Bangalore / Índia	970	Tomaz, 2003
Semi-árido / Brasil	<900mm	ANA, 2010

Nestas regiões com baixa pluviosidade o objetivo principal é garantir um suprimento mínimo de água para as épocas de estiagem. Nos países em desenvolvimento existem programas governamentais que incentivam o aproveitamento de água de chuva, especialmente para as suas populações rurais que não possuem acesso aos sistemas tradicionais de abastecimento de água. Já nos países desenvolvidos o incentivo é calcado nos benefícios ambientais que esta prática promove.

Um exemplo de incentivo governamental ao aproveitamento de água de chuva em países em desenvolvimento é o “Programa de formação e mobilização social para a convivência com o semi-árido: Um Milhão de Cisternas Rurais” que é uma iniciativa combinada de organizações da sociedade civil e governos, que propõe construir cisternas para coletar água de chuva como forma de viabilizar o acesso à água para a população rural do semi-árido brasileiro (ANA, 2010).

Nota-se que de modo geral que o aproveitamento de água de chuva no meio urbano é incentivado naturalmente pela potencial redução dos custos em obter água da rede de distribuição, sendo mais atrativo o aproveitamento realizado em estabelecimentos comerciais e industriais, onde os consumos de água não potável e as áreas de captação são maiores em relação ao perfil residencial, conferindo um efeito de economia de escala, reduzindo, assim, o tempo para retorno de investimento da instalação do sistema de aproveitamento.

Alguns exemplos de incentivos financeiros e materiais são citados por Tomaz (2003) e May (2004), todos referentes a países desenvolvidos. Com exceção do semi-árido nordestino do Brasil o incentivo para a utilização de sistemas de aproveitamento de água de chuva por parte do governo brasileiro é limitado pelo fato de existir uma relativa abundância de água ao comparar com os casos de alguns países desenvolvidos, sendo, quase sempre, mais vantajoso financeiramente investir no abastecimento tradicional. Segundo Clark e King (2005) o Brasil possui uma disponibilidade de água anual de $31.795 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1}$ enquanto o valor médio global é de $7.000 \text{ m}^3 \cdot \text{hab}^{-1}$.

Assim, no Brasil é comum o incentivo por meio de legislação, que de modo regulatório atua de forma sugestiva em alguns casos e, em outros, de forma compulsória, sendo a melhoria ambiental e a redução de alagamentos os principais benefícios citados.

2.1.3 Benefícios: Econômicos, Ambientais e à Drenagem Pluvial

Benefícios Econômicos

Os benefícios que o aproveitamento da água de chuva acarreta são bastante divulgados e citados em pesquisas, manuais e decretos a respeito do assunto, sendo o que se faz mais notável é o econômico, que se justifica pela conseqüente redução do consumo de água tarifada, e por ser este um benefício de fácil mensuração, é objeto de pesquisa em diversos trabalhos.

Apesar da facilidade em estimar o benefício econômico, este é obtido especificamente para cada local de aproveitamento, e para as características particulares do sistema, sendo pouco válida a generalização de resultados pontuais para regiões inteiras, e menos ainda para outros países. Mas a título de balizamento, para estabelecer critérios de projeto para os sistemas de aproveitamento de água de chuva, é importante conhecer os resultados já obtidos, e que características apresentam.

Um exemplo bastante expressivo do benefício econômico do aproveitamento de água de chuva é apresentado por Zaizen *et al* (1999), para o estádio de *baseball* Fukuoka Dome, na cidade de Fukuoka no Japão. Considerando o custo de US\$3,00⁽¹⁾ por m^3 de água tratada fornecida para o estádio, e uma capacidade de aproveitamento médio anual de 52.836 m^3 para usos não potáveis, evita-se que sejam gastos anualmente cerca de US\$120.000⁽¹⁾. Os autores não mencionaram os custos de implantação do sistema para que fosse possível estimar um prazo para retorno do investimento.

¹ Valor não atualizado para o presente

Outro exemplo de estudo de viabilidade econômica para um aproveitamento de água de chuva foi realizado para Florianópolis, e é apresentado por Kobiyama *et al* (2002). O sistema é composto por uma área de captação de 5.192,36 m² e um reservatório de armazenamento com capacidade para 360 m³ para atender um período de 23,2 dias sem precipitação, período que correspondente a um tempo de retorno de 3 anos. Segundo os autores, este sistema seria capaz de gerar uma economia de US\$15.000⁽¹⁾ por ano. Considerando o custo por metro cúbico de água tratada igual à US\$1,57⁽¹⁾ o tempo para retorno do investimento seria de 2,7 anos.

Um estudo detalhado de viabilidade econômica é apresentado por Mano (2004) para a utilização de aproveitamento de água de chuva em residências para o município de Porto Alegre. A viabilidade foi avaliada para reservatórios manufaturados em 4 tipos de materiais (fibra-vidro, polietileno, fibrocimento e concreto) e para volumes de 2.000L à 10.000L, os tempos de retorno de investimento obtidos variaram de ~16anos, para os menores volumes de reservação, e 45,2 anos para os maiores volumes. O autor comenta, ainda, que para o local de estudo o benefício econômico não é expressivo e avalia os benefícios indiretos a fim de obter outros incentivos que motivem a instalação do sistema.

Uma maneira de reduzir os custos de implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva é construir reservatórios coletivos, que atendam a diversas residências, a redução do custo de implantação causa conseqüentemente uma redução direta do tempo para retorno de investimento (Herrmann e Schmida, 1999).

Chilton *et al* (1999) ao avaliarem a viabilidade econômica para o aproveitamento de água de chuva que incide em um telhado de 2.200 m² de um estabelecimento comercial em Greenwich (Inglaterra) obtiveram um prazo para retorno do investimento de ~12 anos. Os autores ainda indicam que um critério de limite máximo aceitável para o prazo para retorno do investimento é de 10 anos. Assim, concluíram que para o local estudado não é viável economicamente a instalação do sistema de aproveitamento, visto que apenas 41% da demanda pode ser atendida. Esta inviabilidade é reforçada devido também ao baixo custo da tarifa de água fornecida, e afirmam que este mesmo sistema seria viável caso fosse instalado em um local que possuísse um volume de precipitação médio anual maior que o de Greenwich (612,5mm·ano⁻¹), com uma tarifa de água mais alta, ou ainda que para o mesmo local a área de captação fosse ampliada.

Um aspecto que influencia significativamente para tornar viável economicamente um sistema de aproveitamento de água de chuva é a capacidade de reservação de água. Segundo Mierzwa *et al* (2007) a definição desta capacidade é o maior desafio a ser enfrentado no momento do projeto. Os autores avaliaram a viabilidade para a instalação do sistema em uma indústria na região do ABCD paulista (região metropolitana de São Paulo), com área de captação de 16.960 m², volumes de reservação entre 100 e 500m³ e uma demanda fixa de 60 m³·dia⁻¹. O menor reservatório (100m³) apresentou o menor tempo para retorno financeiro (1,81 anos), e o maior reservatório (500m³), o maior tempo (2,37) anos.

Muitos outros exemplos poderiam ser citados, contudo, e reforçando a afirmativa de que estudos de viabilidade econômica têm aplicação restrita devido a variabilidade de custos temporal e regional, se faz oportuna a compilação das conclusões a fim de obter um conjunto de relações entre as características do sistema de aproveitamento e a variação provável do benefício econômico, as especificidades locais são visíveis no trabalho de Zhang *et al* (2009).

De modo geral, os relatos de estudos de sistemas de aproveitamento de água de chuva indicam as seguintes relações entre características do sistema e benefício econômico:

a) Demanda

Demandas equivalentes ou maiores que o volume de água captado promovem a redução dos gastos com o consumo de água tarifada, e, conseqüentemente, reduzem o prazo para o retorno financeiro, mas no entanto o nível de atendimento à demanda é reduzido, ou seja, serão mais frequentes os períodos de esgotamento total da reserva de água de chuva captada (Figura 1).

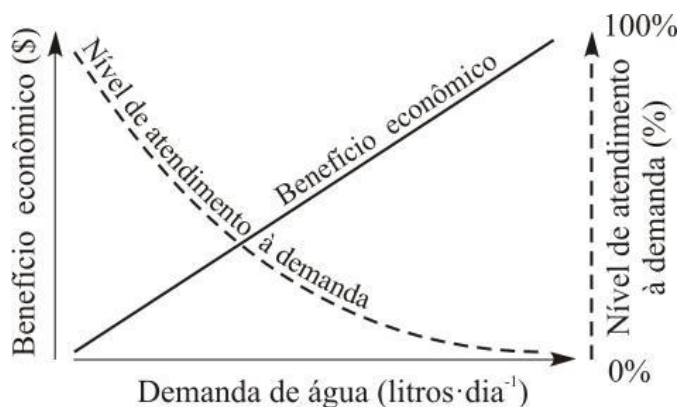


Figura 1 – Benefício econômico e nível de atendimento em função da demanda

b) Capacidade reservação:

Grandes reservatórios extravasam menos, aumentando, assim, o volume de água de chuva aproveitado e, causando a redução dos gastos do consumo de água tarifada e, conseqüentemente, reduzindo também o tempo para retorno financeiro. Mas o custo de construção do reservatório também cresce diretamente com o seu tamanho, exigindo assim uma busca pelo ponto ótimo, onde o benefício em valor presente, para um determinado tempo para retorno financeiro desejável, se igualado ao custo de construção (Figura 2).

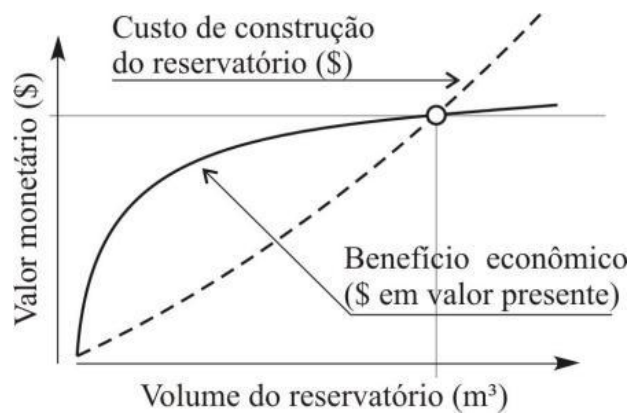


Figura 2 – Benefício econômico e custo de construção em função da capacidade de reservação

c) Área de captação

Sistemas de aproveitamento com grandes áreas de captação têm um maior nível de atendimento à demanda, ou seja, menores serão os períodos em que deverá ser utilizada a água tarifada do sistema de abastecimento. Nesta situação, o reservatório se encontrará na maior parte do tempo próximo a sua capacidade máxima, causando freqüentes extravasamentos, reduzindo o nível de aproveitamento (Figura 3).

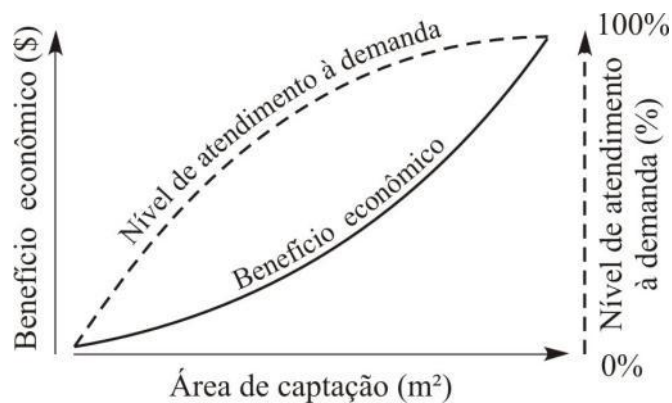


Figura 3 – Benefício econômico e nível de atendimento à demanda em função da área de captação

Benefícios Ambientais

Os benefícios que o aproveitamento de água de chuva propicia ao meio ambiente são citados em muitos trabalhos, freqüentemente iniciando com uma apresentação da disponibilidade hídrica mundial e passando a detalhar a disponibilidade regional do local de estudo específico, sempre fazendo alusão ao crescimento da população, e à conseqüente redução da disponibilidade de água para o atendimento das demandas atuais e futuras da população do planeta.

No entanto, não rara é a vez em que são propostos sistemas de aproveitamento de água de chuva para regiões com grande disponibilidade de água, o que acaba por desqualificar o discurso da escassez de água como argumento de defesa à utilização da água de chuva. Rebouças (2004), apesar de não se dedicar ao tema do aproveitamento de água de chuva em sua obra, apresenta uma reflexão bastante contundente no sentido de entender que a água é um recurso nobre, independente de sua escassez ou

abundância, e que deve ser utilizado com parcimônia, avaliando sempre a possibilidade de obtê-la de fontes alternativas, como por exemplo: água subterrânea, reúso de águas servidas e água de chuva.

A utilização de água de chuva como uma fonte alternativa é citada por Mierzwa (2007), May (2004), Kobiyana (2002), Tomaz (2003), como uma ação que minimiza o problema ambiental causado pela escassez de água, mesmo para usos não potáveis.

Zaizen (1999) acrescenta que, ao utilizar a água de chuva para irrigação no meio urbano, a água que infiltra no solo acaba por beneficiar o ciclo hidrológico no sentido de retorno ao seu balanço de fluxos de urbanização ao contribuir com a recarga dos aquíferos.

Em regiões áridas e com escassez de águas subterrâneas, ou ainda, impróprias para o uso potável por conter minerais e sais de difícil remoção, o aproveitamento de água de chuva é indicado como uma alternativa viável, e utilizando esta água para o consumo humano, animal e para irrigação permite que mais água fique disponível no meio ambiente para atender as necessidades da biota local (Waterfall, 1998; Campo e Neto, 2003; TCEQ, 2007).

O aproveitamento de água de chuva muitas vezes é abordado em paralelo com as medidas de uso racional da água, que buscam reduzir o volume de água demandado reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência dos aparelhos sanitários (ANA, 2005). Estas medidas que devem ser postas em prática por cada cidadão, exigindo, para tanto, que campanhas educativas difundam as vantagens destas medidas.

Em Kobiyama (2002) é notável o empenho em exaltar o papel educativo que o aproveitamento de água de chuva pode ter, especialmente para as crianças (Figura 4).



Figura 4 – Ilustrações de Kobiyama (2002) enfatizando a educação ambiental para crianças

A existência de aproveitamento de água de chuva em uma residência é uma ótima maneira de familiarizar seus habitantes com o processo de abastecimento de água, já que testemunharão o processo e seus resultados, promovendo, assim, a conscientização da importância da preservação e do uso racional da água.

Enfim, os benefícios ambientais que o aproveitamento de água de chuva promove são citados com frequência pelos autores de trabalhos a respeito deste tema, porém de difícil mensuração.

Alguns destes benefícios estão condensados nos seguintes itens:

- a) Ao ser utilizado na irrigação recarrega os aquíferos e pereniza os cursos d'água;
- b) Ao reduzir os volumes captados dos mananciais superficiais, a maior disponibilidade nestes acaba por propiciar maior capacidade de manutenção da biota e de diluição de contaminantes;
- c) Redução do consumo de energia para bombeamento de água em análise global,
- d) Desperta a consciência ambiental da população;

Benefícios à Drenagem Urbana

O benefício à drenagem urbana refere-se especificamente à contribuição que a utilização de sistemas de aproveitamento de água de chuva pode ter para reduzir dos picos de vazão e volumes de água na rede pluvial pública, e por ser o tema foco deste trabalho, este benefício está sendo tratado com maior afinco.

Este benefício é citado com frequência. Por exemplo, May (2004) afirma que a viabilidade do uso da água de chuva é justificada pela redução dos custos com abastecimento de água tarifada e a redução do risco de alagamentos, em caso de chuvas fortes.

Outro trabalho que também enfatiza o benefício em relação ao problema dos alagamentos foi realizado por Mano (2004), que afirma que a utilização de água da chuva para uso residencial e comercial tem contribuição para mitigar este problema.

No trabalho de Filho e Moreira (2005), pode-se concluir que a redução das vazões lançadas à rede de drenagem urbana é significativa para o caso dos eventos mais frequentes, que se situam em tempo de recorrência de até cinco anos para as cidades de Natal e Caicó, ambas no estado do Ceará. Os autores salientam, ainda, que a utilização de sistemas de aproveitamento de água de chuva pode auxiliar os sistemas de microdrenagem urbana, pois funcionam parcialmente como reservatórios de detenção de águas pluviais para eventos de chuvas mais frequentes.

Fazendo contraponto às citações que conferem significantes benefícios à redução dos alagamentos, Tucci (2007) considera que o aproveitamento de água de chuva pode ser útil como fonte alternativa de abastecimento de água não potável, mas alerta que contribui pouco para o controle de alagamentos.

Um trabalho que exemplifica a diversidade de resultados para sistemas de aproveitamento de água de chuva em um país com diferentes regiões climáticas foi realizado por Zhang *et al* (2009). Nas quatro cidades australianas analisadas foi verificado o efeito da implementação de técnicas de uso racional da água e o aproveitamento de água de chuva na redução dos volumes lançados à rede de

drenagem. Conforme apresentado na Figura 5, as cidades com precipitações bem distribuídas ao longo do ano foram as que apresentaram maiores índices de redução se comparado com as que têm fortemente marcados os períodos chuvoso e úmido.

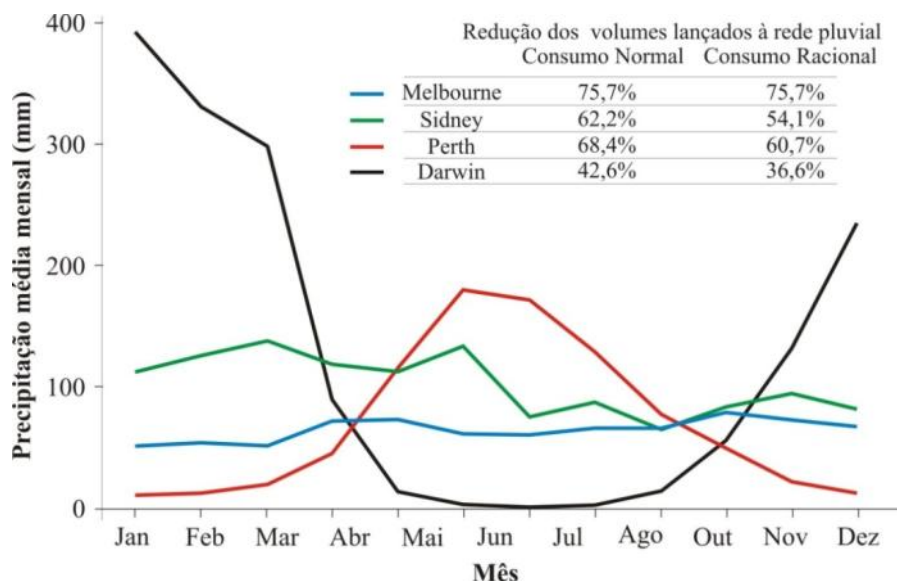


Figura 5 - Regime pluviométrico e reduções dos volumes lançados à rede pluvial (Zhang *et al*, 2009)

A relação do regime pluviométrico e o benefício esperado na redução dos volumes lançados à rede pluvial, constatada por Zhang *et al* (2009), é compatível com a dimensão territorial do Brasil, pois faz-se necessário obter resultados regionalizados, não sendo representativos para obter índices de benefício à drenagem urbana de estudos pontuais e extrapolá-los para todo o país.

A avaliação do benefício à drenagem urbana é mais significativa em termos práticos quando se avaliam as vazões de lançamento à rede. Neste sentido, Shaaban e Appan (2003) obtiveram, para um hidrograma com período de retorno de 10anos e duração de 30min, uma redução de 10% no pico de vazão em um loteamento com 19% de sua área composta por superfícies de captação de água de chuva. No entanto, não é informada que condição inicial foi adotada para o reservatório de armazenamento, deixando margem para supor que, eventualmente, esta redução de 10% do pico de vazão pode ser menor.

Uma modelagem simplista foi realizada por Vaes e Berlamont (2001), onde a capacidade de amortecimento provável e a estimativa de demanda da água coletada de chuva foram obtidas de forma arbitrária, ou seja, a modelagem teve o objetivo de avaliar o efeito que um sistema de aproveitamento de água de chuva teria sobre a geração escoamento para a rede de drenagem pública, e como resultado para a captação em um telhado com 100m², correspondente a 30% do lote em estudo, estimando também o consumo diário de 100 litros, obtiveram a redução da intensidade de chuva original de 5 anos (52,4mm/h) de período de retorno para 1 ano (41,9mm/h). Os autores comentaram que, para eventos de chuva muito intensos, os dispositivos de aproveitamento de água de chuva têm pouco efeito, cenário este que não foi apresentado nos resultados.

Os resultados obtidos por Herrmann e Schmida (1999) apresentados na Figura 6 permitem extrairmos a relação entre a combinação da capacidade de armazenamento e do consumo com os volumes extravasados. O sistema de aproveitamento de água de chuva era composto por uma área de captação de 100m², e na simulação para um reservatório com 1m³ e consumo per capita de 25 litros 44% da água captada no telhado e destinada ao reservatório era extravasada: já para uma demanda maior e um reservatório de 5m³ é possível obter extravasamentos menores que 10%. Os autores cogitam também a possibilidade de destinar os volumes extravasados para outro dispositivo de retenção, que no caso de um reservatório com 6m³ para atender o consumo, um reservatório adicional com 9,5m³ seria capaz de reduzir a zero o lançamento de água para a rede de drenagem.

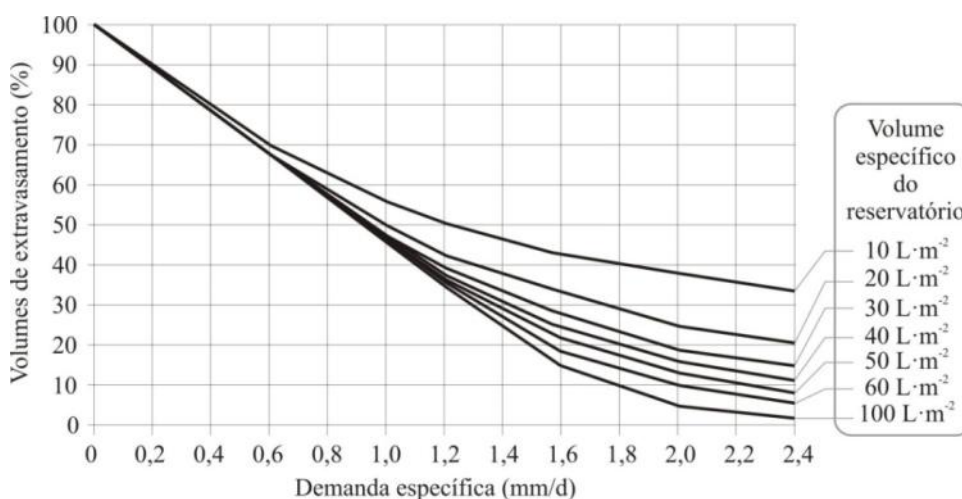


Figura 6 – Volumes extravasados para condições de demandas e volumes de reservação (Herrmann e Schmida, 1999)

A síntese da relação do extravasamento em função da demanda e da capacidade de armazenamento é apresentada em forma gráfica na Figura 7.

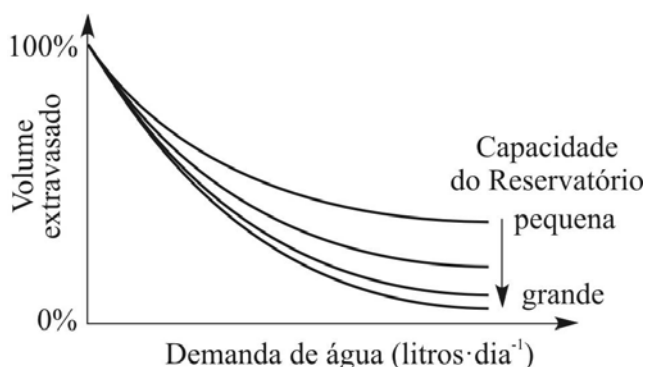


Figura 7 – Relação dos volumes extravasados em relação à demanda e à capacidade do reservatório

Assim, o rol de benefícios atribuídos ao aproveitamento de água de chuva faz com que esta técnica venha sendo posta em voga tanto por iniciativa de organizações e entidades ambientais como pela própria sociedade, que em geral é sensível às questões ambientais. Observa-se ainda que, como reflexo desta situação, recentemente surgiram em número significativo, normas técnica, legislações específicas e trabalhos técnicos e científicos a respeito do aproveitamento de água de chuva, especialmente no meio urbano.

2.1.4 Restrições à Implementação

Os benefícios que o aproveitamento de água de chuva pode propiciar fazem com que este assunto esteja em pauta nas câmaras legislativas municipais, no desenvolvimento de novos equipamentos específicos, nos movimentos sociais para preservação do meio ambiente e na redução dos custos com abastecimento de água, o que gera um cenário de pleno crescimento da utilização do aproveitamento de água de chuva.

Como evidências de uma tendência crescente da utilização do aproveitamento de água de chuva é possível apontar as estratégias de desenvolvimento sustentável (LID – *Low Impact Development*) e certificações ambientais (LEED – *Leadership in Energy and Environment Design*). Estas estratégias mencionam o aproveitamento de água de chuva como alternativa para reduzir o consumo de água e alagamentos urbanos.

No entanto, existem alguns entraves que reduzem e limitam a implementação massiva de sistemas de aproveitamento de água de chuva por parte dos cidadãos e empresas, e a busca pela solução destes entraves permite estabelecer um panorama da tendência futura a respeito do aproveitamento de água de chuva.

Dificuldade em Adaptar Edificações

Este entrave é mais notável nas edificações residenciais já estabelecidas, que raramente apresentam condições favoráveis para a instalação de um sistema de aproveitamento de água de chuva. As dificuldades são por limitações de espaço disponível, pela incapacidade estrutural para suportar o acréscimo de carga de um reservatório extra e pelo fato das instalações prediais hidrossanitárias de água fria atenderem simultaneamente pontos de consumo potáveis e não-potáveis.

A realização de adaptações em edificações já estabelecidas sempre é tecnicamente possível, mas acarreta custos elevados, o que pode inviabilizar economicamente a implementação de um sistema de aproveitamento de água de chuva.

Para novas construções, é possível já construir o sistema de aproveitamento de água de chuva ou prever as principais adaptações para facilitar a sua implementação, reservando área para a construção do reservatório de armazenamento e concebendo as instalações hidráulicas de modo independente para os pontos de consumo não-potável.

Escassez de Informação

A escassez de informações que orientem claramente os benefícios do aproveitamento de água de chuva e recomendações técnicas para os profissionais da área de construção é um entrave que reprime a sua utilização. Segundo Stark e Pushard (2008), a normatização transmite a mensagem de que a técnica é adequada, e também, é uma ferramenta educacional. Informações e normatizações a respeito

das técnicas de aproveitamento de água de chuva tornar-se-ão mais acessíveis e, frequentes, ao passo que a utilização destes sistemas também se torne.

Paralelo a iniciativas governamentais, já existem diversas organizações independentes que surgiram, principalmente, durante a década de 1990, e que se dedicam em linhas gerais a:

- Recomendações de senso comum para a conservação de água;
- Desenvolver métodos práticos para o aproveitamento de água de chuva;
- Formar uma rede de associados com experiência em aplicação de técnicas de aproveitamento de água de chuva, bem como com universidades e outros centros de pesquisa;
- Desenvolver ferramentas, guias e manuais com soluções para o aproveitamento de água de chuva;
- Divulgar produtos específicos para aproveitamento de água de chuva.

Seguem alguns exemplos deste tipo de Instituições:

- International Rainwater Catchment Systems Association – IRCSA, fundada em 1989.
- American Rainwater Catchment Systems Association – ARCSA, EUA - fundada em 1994.
- German Professional Association for Water Recycling and Rainwater Utilisation – FBR (Fachvereinigung Betriebsund Regenwassernutzung), Alemanha - fundada em 1995.
- National Water Harvesters Network, Índia - fundada em 1998.
- HarvestH2O.com, EUA - fundada em 2000.
- Group Raindrops, Japão.

No Brasil não existem organizações dedicadas exclusivamente ao tema do aproveitamento de água de chuva. As instituições que abordam este dedicam-se a áreas nas quais o aproveitamento de água de chuva faz parte, tais como: desenvolvimento sustentável, ambientalismo, ecologia, eficiência energética e reciclagem.

A tendência vislumbrada atualmente é de uma evolução da divulgação e normatização das técnicas de aproveitamento de água de chuva, sobretudo nos países em desenvolvimento.

Tarifa da Água Tratada

A tarifa da água é um forte aspecto que influencia na decisão de investir, ou não, na construção de um sistema de aproveitamento de água, pois altera significativamente o tempo para retorno do investimento.

Segundo a Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD, 2010), a tarifa da água ao consumidor é composta por 3 elementos: custos de operação e manutenção, custos econômico (custos de oportunidades e externalidades econômicas) e externalidades ambientais.

Esta composição da tarifa de água é relativamente nova, e é observada sua aplicação quase que exclusivamente, em países desenvolvidos. Assim, a tarifa de água vem passando a ser composta pela soma dos custos de operação e manutenção, com o incremento nos custos causados pelo aumento dos conflitos pelo uso da água, pela degradação da qualidade da água, pelos possíveis efeitos das alterações climáticas, e pela má gestão dos recursos hídricos. Disto conclui-se que a tendência de elevação da tarifa de água se estenderá em breve aos países não desenvolvidos e em desenvolvimento, o que incentivará a implementação de sistemas de aproveitamento de água de chuva, com a redução do tempo para retorno do investimento.

A tendência de elevação do valor da tarifa do abastecimento de água tratada já é verificada em países desenvolvidos, como o caso dos Estados Unidos. Conforme Virginia (2007), as novas exigências da EPA (Environmental Protection Agency dos Estados Unidos) para utilização de fontes alternativas para o abastecimento de água contidas no guia *Safe Drinking Water Act*, e juntamente com a necessidade de substituição de redes e equipamentos hidráulicos antigos, propiciarão esta tendência de elevação do valor da tarifa.

Assim, a elevação do valor da tarifa de água reduzirá o período de retorno do investimento em construir um sistema de aproveitamento de água de chuva.

No entanto, existe a necessidade social de permitir acesso à água potável da população de baixa renda, por meio de subsídios, que no Brasil beneficia consumidores que utilizam até 20m³ mensais (Tomaz, 2003), o que exigirá, também, alguma forma de subsídio para que esta população de baixa renda invista na construção sistemas para realizar o aproveitamento de água de chuva.

Ajuste na tarifa de esgoto devido ao esgoto gerado pelo uso da água de chuva

Uma questão ainda em aberto em relação à adoção de aproveitamento de água de chuva é a definição de como realizar a cobrança pela geração de esgoto sanitário que é destinado para a rede de coleta e tratamento, já que não é usual a medição deste efluente.

A solução corrente para a cobrança de esgoto é a adotar uma relação esgoto/água para estimar o volume de esgoto gerado, que é proporcional ao volume de água tratada medida no hidrômetro de entrada de cada unidade consumidora. Esta relação varia entre 0,6 e 1,0, adotado respectivamente pela CESAMA (Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora/MG, antiga Companhia de Saneamento e Pesquisa do Meio Ambiente) e SAAEJ (Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jaboticabal/SP).

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva promovem a redução do consumo de água que é fornecida através da rede de abastecimento, que por sua vez ocasiona uma redução do custo com este

serviço. No entanto, estes sistemas não causam redução alguma dos volumes de esgoto sanitário gerado, devendo ser cobrado os custos de destinação e tratamento do mesmo, independentemente da fonte de água, seja ela água tratada canalizada, poço, caminhão pipa ou água de chuva.

A medição direta da vazão efluente é praticamente proibitiva por questões técnicas e econômicas, visto que a própria medição individualizada da água tratada vem enfrentando dificuldades de ser implementada em edificações já construídas.

Este impasse faz com que as companhias de saneamento, em geral, não tenham interesse em incentivar o aproveitamento de água de chuva, por dois motivos: a redução da demanda de água tratada e a elevação da relação esgoto/água que causa um incremento relativo do volume de águas residuárias a serem tratadas.

Uma medida compensatória para realizar um reajuste da relação esgoto/água foi sugerida por Dornelles *et al* (2012), onde utilizam dados de consumos nominais (consumos preditos ou tabelados) juntamente com o valor medido no hidrômetro do ramal de ligação de abastecimento da economia para estimar o volume de esgoto cloacal gerado, exclusivamente, pelo uso de água de chuva. No mesmo trabalho foram apresentados dois casos de aplicação do método, mostrando ser uma alternativa coerente ao explicitar as alterações na tarifação que ocorreriam, sem, no entanto, subtrair para o usuário a atratividade econômica do aproveitamento de água de chuva.

Redução da recarga dos aquíferos urbanos

Ao realizar o armazenamento da água de chuva para posterior utilização esta fica indisponível para a infiltração no solo e, conseqüentemente, para recarga das reservas subterrâneas.

A importância de permitir a recarga dos aquíferos é a perenização dos cursos d'água no meio urbano e contribuir com a manutenção das condições ambientais para flora e fauna local.

O impacto na redução da recarga dos aquíferos causado pelo aproveitamento de água de chuva em meio urbano é praticamente insignificante, visto que em um cenário urbanizado típico, onde as águas provenientes das coberturas das edificações são lançadas diretamente em redes de coleta, esta também não fica disponível para infiltração. Entretanto, se a comparação for entre dispositivos com objetivo de redução dos alagamentos urbanos a comparação do aproveitamento de água de chuva em relação a dispositivos que esgotam a água pluvial por meio de infiltração direta no solo o impacto passa a ser evidente.

2.2 Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva

2.2.1 Descrição Geral

O termo “re-aproveitamento de água de chuva” é bastante comum tanto na linguagem informal quanto na linguagem técnica, no entanto, quando a água de chuva é captada, esta não teve nenhum uso anterior, não sendo válido o prefixo de repetição da ação. Assim, neste trabalho, optou-se por suprimir o prefixo, resultando o termo em apenas “aproveitamento de água de chuva”.

De modo amplo, os sistemas de aproveitamento de água de chuva apresentam 3 itens básicos: superfície de captação da água de chuva, sistema de condução das águas e reservatório para armazenamento. A Figura 8 mostra os 3 itens básicos e os fluxos de água no sistema, específicos para um aproveitamento em zona urbana onde exista abastecimento de água.



Figura 8 – Esquemática de um sistema de aproveitamento de água de chuva e seus fluxos de água (Cheng (2000) apud May (2004))

Uma classificação quanto às características hidráulicas dos fluxos e de seus destinos é realizada por Herrmann e Schmida (1999), com base nas tipologias mais frequentes (Figura 9):

a) Sistema de aproveitamento de água de chuva de fluxo total;

Todo o fluxo é destinado a um dispositivo de gradeamento e filtragem, e depois ao reservatório, o sistema contribui para a rede pluvial apenas quando o reservatório está cheio.

b) Sistema de aproveitamento de água com derivação;

Neste tipo de sistema são instalados dispositivos que derivam o escoamento de modo que os detritos e sedimentos sejam destinados à rede de drenagem pluvial. Estes dispositivos apresentam pouca eficiência durante as precipitações mais intensas, fazendo com que a maior parte da vazão seja

destinada a rede pluvial. Também, são conhecidos e chamados de filtros auto-limpantes, pois não exigem a remoção do material, já que este é carregado para a rede pluvial.

c) Sistema de aproveitamento de água com volume de retenção;

Este tipo de sistema diferencia-se do de fluxo total por possuir um volume de retenção (espera), onde a água é armazenada temporariamente e escoada lentamente para a rede pluvial, amortecendo, assim, a vazão lançada à rede. O escoamento lento permite que a parcela do reservatório destinada à retenção de vazões fique livre para o próximo evento. Este é um sistema concebido para contribuir com a minimização de alagamentos urbanos.

d) Sistema de aproveitamento de água com infiltração;

Uma alternativa para o lançamento dos extravasamentos à rede pluvial é a destinação destes volumes excedentes para um dispositivo de infiltração. Sempre que possível este é o sistema mais adequado, pois independe da existência e das condições da rede pluvial, e recarrega os reservatórios de água subterrânea contribuindo para o restabelecimento dos fluxos hidrológicos naturais.

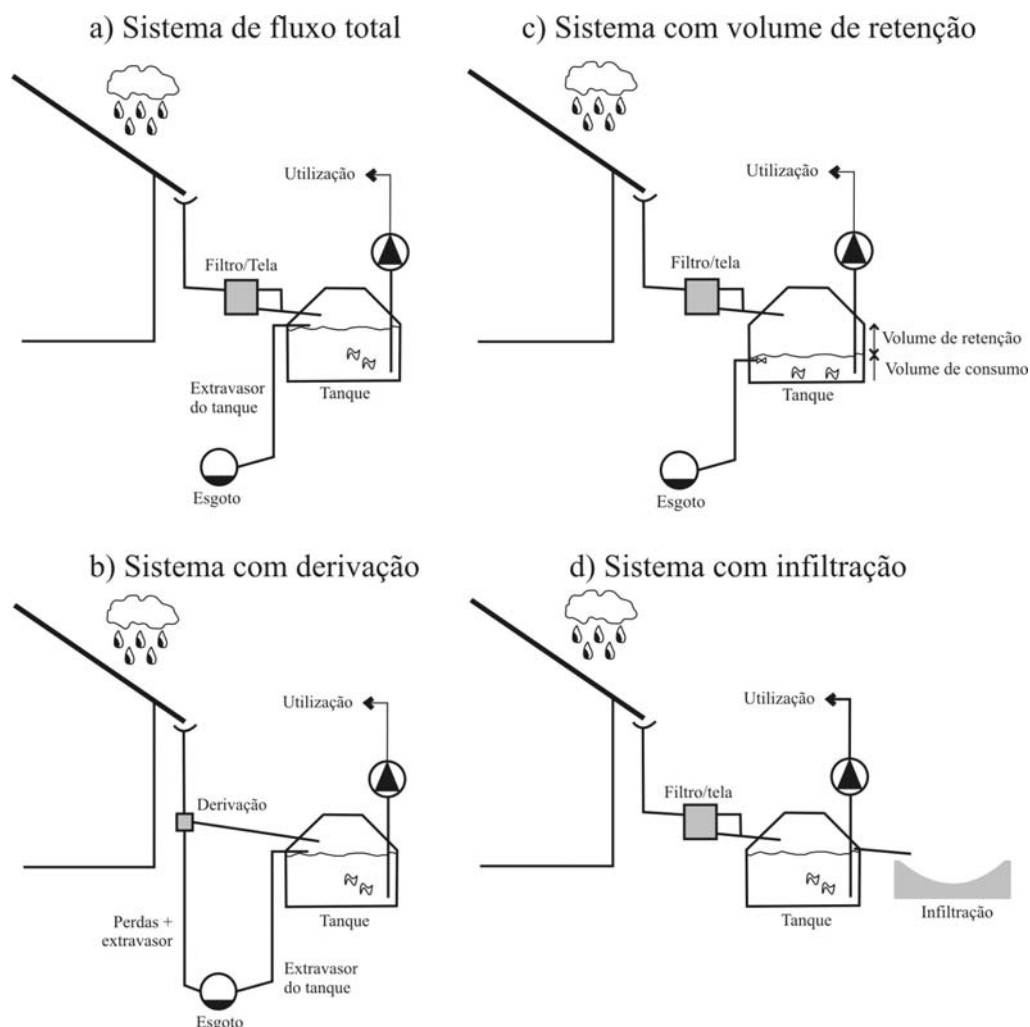


Figura 9 – Sistemas de aproveitamento de água de chuva quanto seus fluxos e destinações (adaptado de Herrmann e Schmida, 1999)

Nos itens a seguir serão abordados mais em detalhe os elementos que compõe um sistema de aproveitamento de água da chuva idealizado para a condição de utilização em meio urbano.

Nos sistemas de aproveitamento de água de chuva para uso não potável é necessário que exista o abastecimento de água potável, tanto para atender o consumo potável quanto para alimentar o sistema de aproveitamento de água de chuva quando este não é capaz de atender a demanda. É importante que as redes de água potável e de água proveniente de chuva não tenham ligações entre elas, a fim de evitar contaminações (Figura 10).

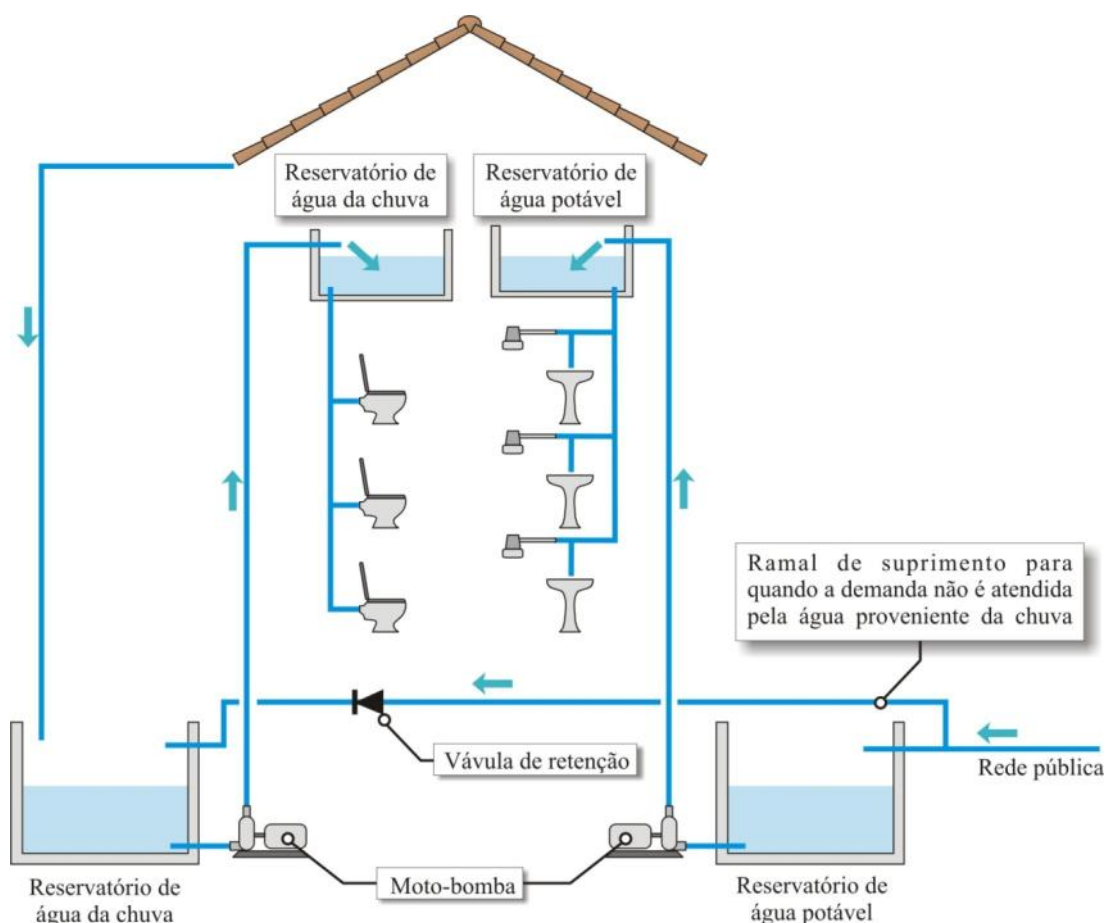


Figura 10 – Exemplo de funcionamento de um sistema de aproveitamento de água de chuva combinado com abastecimento de água potável

2.2.2 Área de Captação de Água de Chuva

A definição da ABNT (2007) para área de captação é de que ela consiste da projeção horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada (Figura 11). May (2005) especifica que as áreas de captação mais usuais são os telhados e lajes de cobertura, mas que, dependendo do tratamento que será realizado pode-se captar água de superfícies impermeáveis de pisos em geral, como pátios, passeios e estacionamentos, com uma ressalva para estas últimas de que são passíveis de uma maior contaminação.

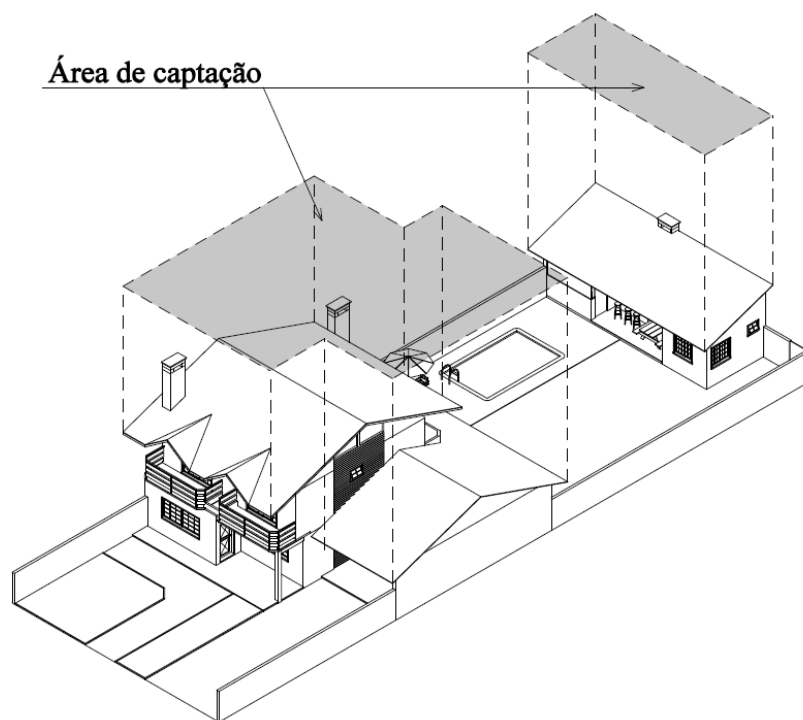


Figura 11 – Áreas de captação de água de chuva

O material utilizado na cobertura interfere qualitativamente na água que é captada. Cunliffe (1998) alerta para o efeito que telhados em fibro-cimento (amianto), pintados, galvanizados, ou em madeira tratada podem ter na qualidade da água, em especial para consumo potável que pode ser nocivo a saúde humana e animal. No entanto, para consumos não potáveis os problemas causados pelo tipo de material das superfícies são principalmente de caráter estético, ou seja, podem atribuir alguma coloração à água.

O volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado (Tomaz, 2003). Assim, além da influência qualitativa, o tipo de material da cobertura influencia na parcela de perda volumétrica de água captada. Materiais porosos como telhas de fibro-cimento, concreto e cerâmica apresentam maiores perdas, já telhas metálicas são as mais eficientes.

A perda que ocorre na superfície da cobertura é oriunda da saturação do material e da evaporação, consistindo em uma perda praticamente constante, sendo significativa apenas para as menores precipitações. Ainda, perdas por vazamentos que porventura ocorram nas calhas devem ser previstos.

Para representar estas perdas utiliza-se um coeficiente de escoamento (c), que indica a parcela efetiva da precipitação que é transformada em escoamento. Segundo Tucci (1993) a estimativa deste coeficiente tem alguns aspectos subjetivos.

Não existe consenso na estimativa do coeficiente de escoamento, as tabelas existentes na bibliografia indicam freqüentemente uma faixa de variação para cada tipo de material e um valor mais provável.

Assim, na Tabela 2 são apresentadas faixas e valores indicados por diversos autores para o coeficiente de escoamento em telhados.

Tabela 2 – Coeficientes de escoamento para telhados

Urbonas e Stahre, 1993	entre 0,85 e 0,95
Hari, 2005	entre 0,75 e 0,90
Tomaz, 2004	0,80
Waterfall, 1998	entre 0,90 e 0,95

Dada a variabilidade do coeficiente, o projetista deve ponderar a determinação do coeficiente de escoamento (c) em função dos fatores de risco. Assim, para o caso de o sistema de aproveitamento de água de chuva garantir o abastecimento deve-se optar por um valor mais baixo, e para atuar como um dispositivo de redução de alagamentos urbanos um valor mais alto. Podendo ainda, ser adotado um valor intermediário, que tenha compromisso em atender parcialmente ambos os quesitos.

2.2.3 Condução para Armazenamento e Pré-tratamento

A condução da água captada nas coberturas da edificação até o reservatório tradicionalmente é realizada por meio de calhas e tubulações. A norma técnica brasileira NBR10844/1989 (Instalações prediais de águas pluviais) especifica detalhadamente o dimensionamento e a forma de instalação, sendo este um ponto já consolidado na área de hidráulica predial.

No entanto, quando se pretende realizar o aproveitamento de água de chuva deve-se remover sedimentos e detritos que são carreados junto com o escoamento. Para tanto, existem dispositivos manuais ou automáticos, de filtragem ou descarte, e ainda dispositivos artesanais ou industrializados.

a) Manuais ou automáticos

São classificados quando os dispositivos de pré-tratamento necessitam alguma operação manual ou não, podendo ser tanto durante a ocorrência de precipitação quanto após.

b) Filtragem ou de descarte

Os dispositivos de pré-tratamento podem aproveitar todo o volume coletado realizando uma filtragem, como, por exemplo, por caixas de areia (Figura 12).

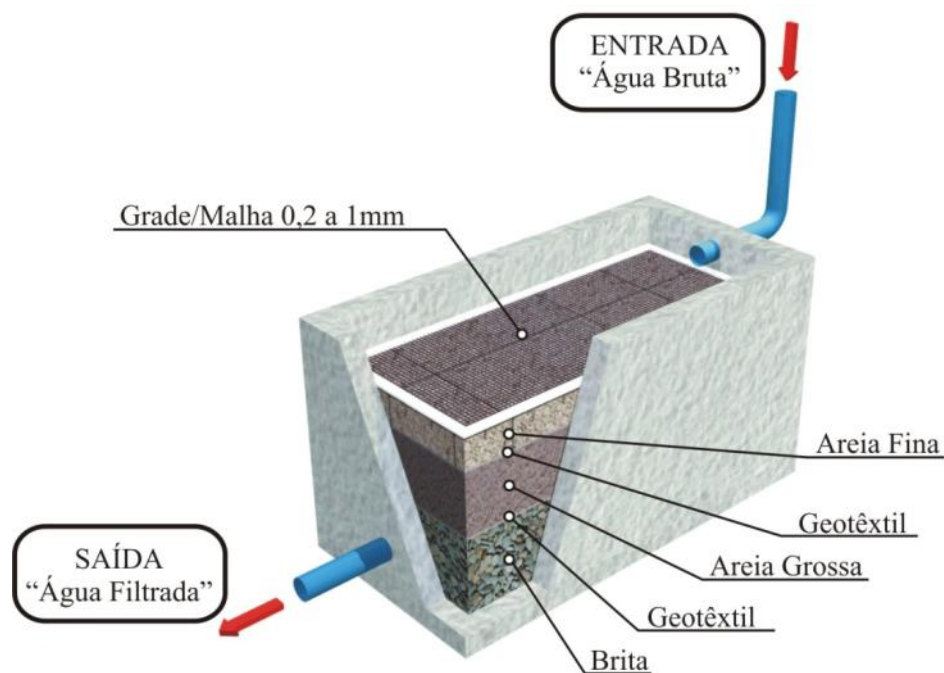


Figura 12 – Caixa de areia para filtragem da água chuva captada em telhados

No caso de pré-tratar a água de chuva por meio de descarte se adota um volume proporcional à área de captação, ou um volume correspondente a um determinado tempo (entre 10 e 20min) do início de precipitação (Tomaz, 1997). Quanto ao volume proporcional à área de captação Dach (1990) *apud* Tomas (2003) o reservatório de descarte deve ter entre 0,8 e 1,5L/m² (Figura 13).

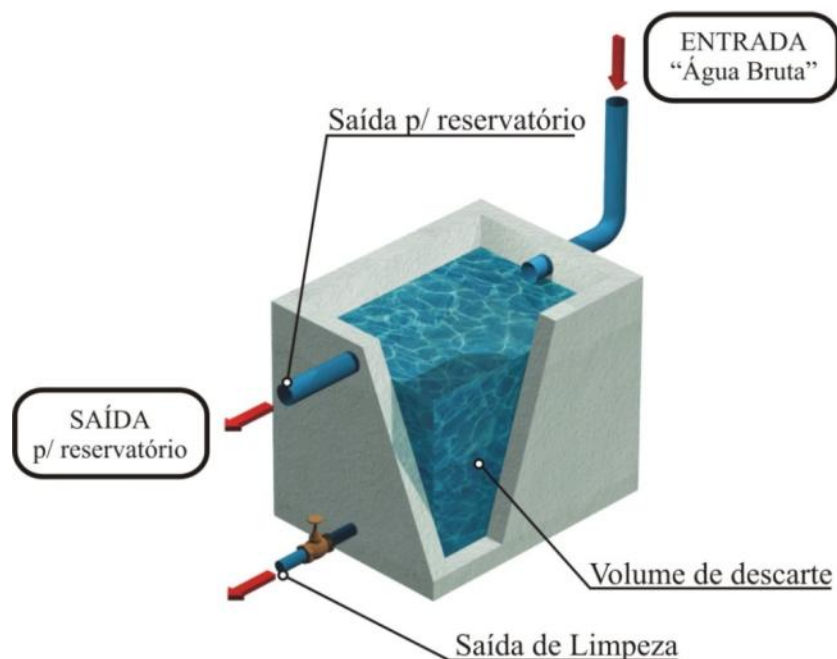


Figura 13 – Reservatório de pré-tratamento por descarte do escoamento inicial

c) Artesanais ou industriais

Diferenciam-se dos dispositivos de aproveitamento de água de chuva quanto ao seu processo de fabricação, que se utilizam de materiais comuns de construção e de instalações hidráulicas, e é

construído no próprio local, diz-se que estes são dispositivos de pré-tratamento artesanais. E, se são módulos prontos fabricados que exigem apenas a sua instalação no local, diz-se que são dispositivos industriais. Os pioneiros na introdução de dispositivos industrializados são os países europeus e os Estados Unidos. No entanto, hoje é possível adquirir no mercado brasileiro dispositivos industrializados para o pré-tratamento de água de chuva.

2.2.4 Armazenamento

O armazenamento de água de chuva, de modo geral, requer volumes superiores aos necessários para o armazenamento de água potável fornecida pela rede de abastecimento, devido à disponibilidade de chuva que é mal distribuída no tempo.

Quanto ao tipo material que os reservatórios podem ser fabricados, Cunliffe (1998) cita: o metálico, em fibra de vidro, o plástico e em concreto armado.

May (2004) apresenta uma série de recomendações importantes para o correto funcionamento do reservatório de armazenamento de água de chuva:

- evitar a incidência direta de luz solar no reservatório, para reduzir a proliferação de microorganismos;
- a tampa de inspeção deve ser hermética;
- a saída do extravasor deve possuir uma tela que impeça o ingresso de animais;
- realizar a limpeza anualmente removendo o sedimento decantado no fundo;
- o fundo do reservatório deve ter caimento mínimo em direção a saída auxiliar de limpeza;
- o reservatório e a tubulação que conduz água de chuva, devem ser identificados com placas e pintado com cor diferenciada, para alertar que a água ali contida não é potável;
- o tubo de entrada deve ter um dispositivo de redução de turbulência (freio hidráulico), que evite o revolvimento do sedimento depositado no fundo do reservatório. Estes dispositivos são peças hidráulicas que direcionam o jato na direção vertical e oposta ao fundo do reservatório, fazendo com que a velocidade seja dissipada nas zona superficial do reservatório;

Uma recomendação extra, mencionada por LaBranche (2007), é em relação à tomada de água de chuva, que deve ser realizada abaixo do nível da superfície da água com mangueira flutuante provida de filtro com malha com abertura de 0,2mm, para evitar a sucção de detritos que prejudiquem a qualidade da água e o funcionamento da bomba de recalque.

2.2.5 Usos e Demandas

A estimativa dos usos e das demandas é uma etapa importante do projeto de um sistema de aproveitamento de água de chuva, pois interfere diretamente no balanço de massa quando da simulação do funcionamento do sistema, o que reflete nas estimativas de nível de atendimento à demanda e na capacidade de retenção de água que seria lançada à rede pluvial.

A obtenção dos valores médios de consumo per capita pode ser realizada com base na própria medição realizada pela companhia de abastecimento, e na estimativa e característica populacional. No entanto em redes com fugas de água significativas a medição deve ser realizada diretamente sob uma amostra de unidades consumidoras. Twort *et al* (2000) sugerem para o caso de consumos residenciais que se deva classificar as ocupações residências em 6 classes e monitorar entre 30 e 35 unidades, por um período entre 2 e 4 semanas, a fim de obter resultados representativos. No entanto, os mesmos autores alegam que esta é uma amostragem mínima, pois para o caso de uma amostragem com desvio padrão de 30 L.dia.hab⁻¹, é necessário que a amostra tenha 865 unidades para um erro do valor do consumo médio per capita de ± 2 L.dia.hab⁻¹ com 95% de confiança, sendo inviável proceder o monitoramento em uma amostragem com esta dimensão.

Ainda, segundo Twort *et al* (2000), a demanda é sensível às seguintes características:

- padrão de habitação;
- taxa de ocupação (número de pessoas);
- poder aquisitivo dos usuários e suas possíveis variações;
- cultura;
- religião;
- clima, sua sazonalidade e anomalias;
- capacidade de atendimento à demanda.

Em relação ao poder aquisitivo dos consumidores, Dias *et al* (2010) relacionam maiores consumos de água quanto maior for a renda, pois os hábitos e comportamentos que consomem água, como: banhos, lavagem de automóveis, realização festas e limpeza a moradia – são realizados com maior frequência pela população com maior renda. Na Figura 14 é apresentada esta relação direta entre renda e consumo de água para a capital do estado de Minas Gerais (Belo Horizonte) obtida por Dias *et al* (2010).

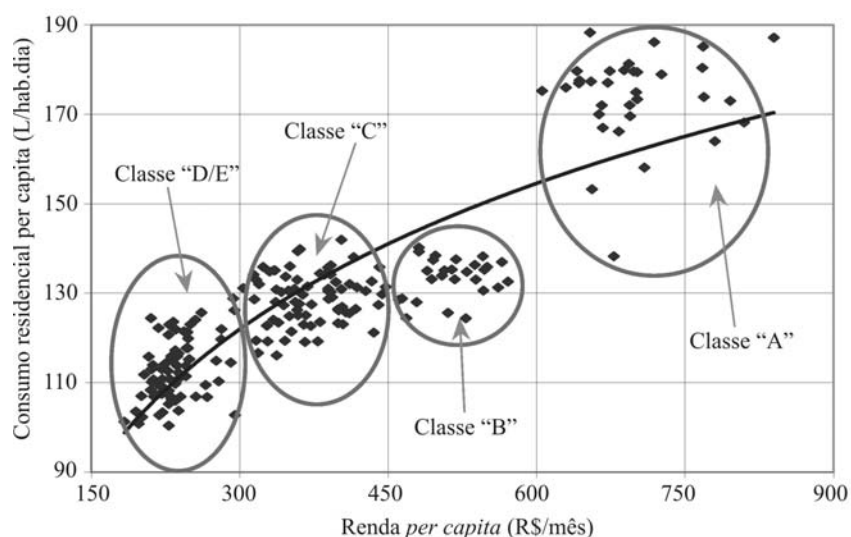


Figura 14 – Consumo de água tratada em função da renda per capita em Belo Horizonte (modificado de Dias *et al* 2010)

A forma de cobrança pelo fornecimento de água também influencia no consumo, podendo ser a cobrança realizada com base em medição através de hidrômetros, e ainda, do tipo individualizada ou não. O caso que mais eleva o consumo é a cobrança realizada por meio de taxa única, sem haver medição do volume consumido; neste caso, o aumento do consumo é evidente já que o consumidor é livre para usar e desperdiçar tanto quanto desejar sem que seja onerado por isso. Já entre a medição coletiva e individualizada, observa-se uma redução no consumo para o segundo caso em relação ao primeiro. Esta redução, segundo Tomaz (1997), pode variar entre 15 e 30%.

Na elaboração de projetos de sistemas de aproveitamento de água de chuva é fundamental conhecer a parcela do consumo que pode ser atendida pela água chuva, ou seja, a demanda por água não potável. A discriminação dos tipos de uso dentro de uma unidade consumidora é apresentada em tabelas de desagregação da demanda total.

Valores de desagregação são encontrados na literatura com boa freqüente para os consumos residenciais e comerciais. Já para a desagregação de demandas industriais existe certa dificuldade, que devido à especificidade dos processos no ambiente industrial, deve-se recorrer a estimativas detalhadas de cada processo industrial que demande água.

Historicamente no Brasil, por não haver dados de medições sistemáticas e seguras a estimativa de demanda é realizada com base em valores de consumo médio apresentadas em bibliografia estrangeira (Matos, 2007). Uma compilação de dados de diversos autores e regiões do mundo é apresentada por Tomaz (2000) e reproduzida neste trabalho no Anexo 1. Nesta compilação estão contidos, também, dados do Departamento de Água e Esgoto do Município de Porto Alegre.

A estimativa das variações sazonais e temporais da demanda é de difícil obtenção, uma vez que os monitoramentos realizados para a obtenção dos dados existentes na bibliografia objetiva o projeto de estações e redes de abastecimento de água tratada; não há interesse em conhecer outros valores de

demanda, além dos médios e os picos. No entanto, estas variações sazonais e temporais, podem ser verificadas ao analisar a flutuação de população da região durante períodos característicos de férias, feriados e festas.

O monitoramento da produção de 3 estações de tratamento de água na região metropolitana de São Paulo durante o ano de 2005 apontou algumas características da variabilidade temporal da demanda por água, e os aspectos que a influenciam. Conforme os resultados apresentados por de Santos *et al* (2006), a demanda varia nas seguintes condições:

Redução do consumo: em dias chuvosos, temperatura do ar baixa, umidade relativa do ar alta, domingos feriados.

Aumento do consumo: após chuvas intensas (limpeza de pátios e lavagem de roupas), temperatura do ar alta, umidade relativa do ar baixa e dias de semana (segunda a sexta).

Os principais usos de água não potável em residências são para a descarga de bacias sanitárias, irrigação de jardins, lavagem de pátio e veículos. Dentre estes usos citados, o que não é influenciado por questões climáticas é o volume diário de água utilizado para a descarga de bacias sanitárias, sendo esta função exclusiva do número de habitantes.

As dificuldades para estimar os consumos de água para irrigação é a dependência de informações particulares do solo e da vegetação, este tema é abordada em detalhe em Tomaz (2007). Uma recomendação mais genérica é apresentada por Melo e Azevedo (1988) que indica um consumo de 1 a 2 litros de água por metro quadrado de jardim, sempre que não houver precipitação significativa no dia.

2.3 Regulamentações: Leis, Normas e Decretos

2.3.1 A Regulamentação do Aproveitamento de Água de Chuva

A regulamentação do aproveitamento de água de chuva é relativamente recente, e mais ainda no âmbito brasileiro. Ela vem sendo implementada com o histórico de crescimento do interesse em uso racional da água. O intuito das regulamentações é incentivar, padronizar, obrigar ou ainda proibir, a coleta e utilização de água de chuva.

As recomendações apresentadas nos documentos de regulamentação são freqüentemente obtidas de maneira empírica, sem fornecer informações como, nível de atendimento e eficiência. Não conhecer o desempenho que será obtido de um aproveitamento de água de chuva causa incerteza no benefício ambiental e econômico que ele pode promover. Algumas regulamentações pecam por não preverem situações de conflito e exceções, por exemplo, como será cobrado o esgoto gerado pelo uso

de água de chuva, a partir de que área de lote o proprietário passa a ser obrigado a aproveitar a água de chuva, de que forma será a fiscalização e as punições cabíveis.

Serão apresentados alguns exemplos de leis, norma e decretos, que, em especial no Brasil, estão ainda em tramitação para aprovação estando disponível apenas a versão do projeto de lei.

2.3.2 Exemplos de Regulamentação Implantada no Brasil

Curitiba/PR

Lei Nº 10.785 de 18 de setembro de 2003.

“Art. 1º. O Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações - PURAE, tem como objetivo instituir medidas que induzam à conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para captação de água nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água.”

“Art. 3º. As disposições desta lei serão observadas na elaboração e aprovação dos projetos de construção de novas edificações destinadas aos usos a que se refere à Lei nº 9.800/00, inclusive quando se tratar de habitações de interesse social, definidas pela Lei nº 9802/00.”

A Lei nº 9.800/00 Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no município de Curitiba

A Lei nº 9.802/00 Institui incentivos para a implantação de programas habitacionais de interesse social, a proprietários de imóveis localizados no âmbito de seu território.

“Art. 7º. A água das chuvas será captada na cobertura das edificações e encaminhada a uma cisterna ou tanque, para ser utilizada em atividades que não requeiram o uso de água tratada, proveniente da Rede Pública de Abastecimento, tais como:

- a) rega de jardins e hortas,
- b) lavagem de roupa;
- c) lavagem de veículos;
- d) lavagem de vidros, calçadas e pisos.”

Decreto nº 293 de 22 de março de 2006.

“Art. 2º Para o licenciamento de construções no Município, fica obrigatória que no projeto de instalações hidráulicas seja prevista a implantação de mecanismo de captação das águas pluviais, nas coberturas das edificações, as quais deverão ser armazenadas para posterior utilização em atividades que não exijam o uso de água tratada.”

“Art. 5º As cisternas e reservatórios deverão ser dimensionados para cada caso, devendo ser instalados nas próprias áreas dos imóveis, excluído as faixas de recuo predial obrigatório.”

“§1º Nas edificações habitacionais o dimensionamento do volume necessário para a cisterna ou reservatório deverá ser calculado mediante a aplicação da seguinte fórmula:”

$$V = N \cdot C \cdot d \cdot 0,25, \text{ onde:}$$

V = Volume em litros

N = Número de unidades

d = Número de dias de reserva = 2

C = Consumo diário em litros/dia, adotando-se os valores conforme tabela abaixo:

Quantidade de quartos	Consumo (litros / dia)
1 (um)	400
2 (dois)	600
3 (três)	800
4 (quatro) , ou mais	1.000

“§2º Nas edificações comerciais o dimensionamento do volume necessário para a cisterna ou reservatório deverá ser calculado mediante a aplicação da seguinte fórmula:

$$V = A_c \cdot 0,75$$

Sendo: V = Volume em litros e A_c = Área total computável da edificação.”

“§3º Em todos os casos fica estabelecido um reservatório com volume mínimo de 500 litros.”

Porto Alegre/RS

Lei Nº 10.506, de 5 de agosto de 2008. (Anexo 2)

“Art. 1º Fica instituído o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas.”

“Art. 8º As ações de reaproveitamento das águas compreendem basicamente:

I – a captação, o armazenamento e a utilização de água proveniente das chuvas; e

II – a captação, o armazenamento e a utilização de águas servidas.”

“Art. 9º A água das chuvas será captada na cobertura das edificações e encaminhada a uma cisterna ou tanque para ser utilizada em atividades que não requeiram o uso de água potável

proveniente do Serviço de Abastecimento Público de Água, tais como a lavagem de roupas, vidros, calçadas, pisos, veículos e a irrigação de hortas e jardins.”

“Art. 13. O Poder Público poderá cadastrar as edificações que aderirem ao Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas para fins de estudos referentes a incentivos.”

Em Porto alegre, apesar de a lei já estar aprovada, e ser clara quanto à obrigatoriedade, por razões de viabilidade de aplicação ela está sendo exigida apenas nos casos em que a área de coleta de água de chuva é significativa (>500m²).

Cascavel/PR

Lei Nº:4.631/2007

“Art. 1º Fica instituído o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água e Reuso em Edificações, que tem por objetivo instituir medidas que induzam à conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para a captação de água e reuso nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água.”

“§ 1º. O Programa abrangerá também os projetos de construção de novas edificações de interesse social.”

“§ 2º. Os bens imóveis do Município de Cascavel, bem como os locados, deverão ser adaptados no prazo de 10 (dez) anos.”

“§ 3º. Será oportunizado desconto no Imposto Territorial e Predial Urbano – IPTU, dos imóveis que se enquadrarem na presente Lei.”

“Art. 3º Deverão ser estudadas soluções técnicas a serem aplicadas nos projetos de novas edificações, especialmente:

“II – captação, armazenamento e utilização de água proveniente da chuva;”

“Art. 4º Serão estudadas soluções técnicas e um programa de estímulo à adaptação das edificações já existentes.”

“Parágrafo único. O setor industrial deverá obrigatoriamente adotar o reuso da água de chuvas para suas atividades.”

As leis, e projetos de leis, citadas amostram o anseio que existe por iniciativas políticas e sociais de incentivo a implementação do aproveitamento de água de chuva no meio urbano, no entanto é criticável a não recomendação de aspectos técnicos, ou, a recomendação técnica desacompanhadas de

informações aos cidadãos dos benefícios econômicos e ambientais esperados. Suprimir estas informações é fonte de descontentamento populacional ao ver que lhe está sendo exigido algo do qual não sabe-se que benefícios trará, sendo interpretado, em primeira instância, como algo prejudicial.

2.3.3 Exemplos de Regulamentação Implantada em Outros Países

Coréia do Sul

Suwon

A municipalidade de Suwon está criando um plano para manejo de águas urbanas, chamado *Rain city*, onde incentiva o reuso de águas cinza e o aproveitamento de água de chuva em prédios públicos em lotes com mais de 2.000m² e mais de 3.000m² de área construída.

Este plano ainda prevê a possibilidade de a municipalidade arcar com parte dos custos de instalação dos sistemas para reuso de água cinza e aproveitamento de água de chuva.

Estados Unidos da América

Estado do Arizona

O governo disponibiliza um crédito de 25% do custo de construção do sistema de aproveitamento de água de chuva, limitado em no máximo US\$1.000 para qualquer cidadão que tenha construído um sistema em sua residência. Para isso o governo estadual contingenciou R\$250.000 por ano a fim de incentivar o aproveitamento de água de chuva.

Novo México

Residências com área de 230m², ou mais, devem construir sistemas de aproveitamento de água de chuva, sendo compulsório para edificações comerciais.

Austin/Texas

Os cidadãos de Austin podem adquirir barris para armazenar água de chuva com subsidio do governo, e instalações comerciais e indústrias são habilitadas para receber descontos de até US\$40.000 para a instalação de sistemas de aproveitamento de água de chuva.

Colorado

O estado do Colorado proibia o aproveitamento de água de chuva até o ano de 2008. Atualmente já é possível captar e armazenar a água de chuva, mas apenas em residências que não são atendidas pelo sistema de abastecimento de água. Assim, praticamente todas as áreas urbanas são impossibilitadas de aproveitar de água de chuva, já que estas áreas são atendidas pelo sistema de abastecimento de água. No entanto, nos estados de Washington e Utah a proibição ainda prevalece.

2.4 Aspectos Qualitativos

2.4.1 Qualidade da Água em Sistemas de Aproveitamento de Chuva

A análise da qualidade da água em um sistema de aproveitamento de água de chuva deve ser avaliada em ao menos 4 pontos: na água da chuva antes de incidir no telhado de cobertura, na água que está chegando ao reservatório de armazenamento após pré-tratamento, na água armazenada para o consumo e na água no ponto de consumo.

Em princípio a água de chuva é recomendada para uso não potável, pois garantir um sistema de tratamento seguro para a sua ingestão pode ser inviável economicamente e vulnerável se não seguir rigorosamente as normas estipuladas de tratamento de água.

A alteração das características qualitativas da água de chuva é resultado das condições locais de poluição atmosférica, ou ainda pela proximidade com o oceano, onde a chuva apresenta elementos como sódio, potássio, magnésio, cloro e cálcio. A poluição do ar pode ser um efeito antrópico, no caso de concentração de indústrias, emissão de gases pelo escapamento de veículos, e também pela emissão de gases provenientes da geração termoelétrica a combustível inflamável.

Nos centros urbanos e pólos industriais é notável a alteração na elevação das concentrações de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x), e também, chumbo e zinco na água da chuva. A simples verificação do pH da água de chuva é um indicador da presença destes elementos que elevam a acidez da água causando a “chuva ácida”, onde o valor normal é pH=5 que com a presença dos elementos citados reduz para a faixa de pH=4, ou menos (Tomaz, 2003).

A coleta da água em telhados de cobertura é acometida de contaminações diversas, comprometendo a utilização da primeira parcela de água que chega ao reservatório de armazenamento, devendo esta ser descartada com o uso de dispositivos de pré-tratamento. A origem da contaminação é a presença de fezes de animais, poeira, folhas vegetais, animais mortos e do próprio tipo do material do telhado de cobertura (Tomaz, 2003).

A água que ingressa ao reservatório de armazenamento contém ainda algum material particulado em suspensão, que acabará sendo depositado no fundo pela sedimentação, reduzindo a turbidez da água. Assim como o material particulado, microorganismos também ingressam ao reservatório e podem se proliferar, a sua redução pode ser realizada protegendo o reservatório da radiação solar, provendo o reservatório com tampas herméticas e instalando telas de proteção no extravasor para impedir a entrada de animais e insetos.

Quanto à qualidade da água no ponto de consumo esta não deve apresentar odor e coloração desagradável perceptível. A Norma Técnica Brasileira 15.527-2007 recomenda os índices contidos na Tabela 3, no entanto, não faz menção em que ponto do sistema de aproveitamento de água de chuva estes valores dever ser atendidos.

Tabela 3 – Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos não potáveis (ABNT 2007)

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100mL
Cloro residual livre ^(a)	Mensal	0,5 a 3,0 mg.L ⁻¹
Turbidez	Mensal	<2,0 uT ^(b) , para uso menos restritivos <5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	<15 uH ^(c)
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado
NOTA: podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio		
^(a) no caso de serem usados compostos de cloro para desinfecção		
^(b) uT é a unidade de turbidez		
^(c) uH é a unidade Hazen		

Visto que a qualidade da água de chuva não apresenta padrões suficientes para sua potabilidade é conveniente sinalizar os pontos de consumo com placas informando que ali a água não é própria para a ingestão, bem como pintar as tubulações para uma maior proteção contra ingestões de água equivocadas (ABNT, 2007).

2.4.2 Tratamento da Água de Chuva Armazenada

A água de chuva armazenada no reservatório pode ter sua qualidade depreciada em função de processos biológicos, tais como proliferação de algas e microorganismos. Estes processos biológicos podem causar alteração no odor e coloração da água. A recomendação de LaBranche *et al* (2007) para interromper estes processos é realizar a oxigenação da água, permitindo a renovação da camada de ar sobre a superfície da água ou ainda realizar a injeção de ar, método freqüente para oxigenar a água de aquários de criação de peixes. A preferência pela oxigenação é por não alterar o odor, como o que ocorre com a utilização de cloro.

Outro fator que contribui para a redução da oxigenação da água armazenada é a formação de um filme flutuante que bloqueia a transferência do oxigênio do ar para o interior da massa de água. Este filme é automaticamente eliminado quando do extravasamento da água do reservatório, no entanto, em reservatórios com menor freqüência de extravasamento, a remoção deste filme deve ser realizada manualmente (LaBranche *et al* 2007).

A cloração da água é um tipo tratamento largamente empregado, visto que existem disponíveis no mercado dispositivos. Estes dispositivos são dosadores que podem ser instalados na entrada do

reservatório, clorando a água no momento do seu ingresso ao reservatório, ou então, são dispositivos instalados no interior dos reservatórios, que então disponibiliza o cloro a uma taxa constante.

O tema do tratamento da água no interior do reservatório pode ser considerado resolvido, visto que as técnicas são simples e de conhecimento trivial de técnicos que realizam limpeza de reservatórios e piscinas.

2.5 Métodos Correntes de Dimensionamento do Reservatório de Armazenamento

Os métodos de dimensionamento do reservatório para armazenamento de água de chuva normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas compõem um conjunto bastante heterogêneo ao analisar-se os princípios que empregam, devido a isto seus resultados são distintos em entre si ao utilizar-se as mesmas premissas de projeto (Dornelles *et al*, 2010).

A seguir são apresentados os métodos sugeridos pela norma brasileira encontrados na literatura, que foram, aqui, classificados em “práticos”, “de simulação” e “estatístico”.

2.5.1 Métodos Práticos

Método Azevedo Neto (ABNT, 2007)

Trata-se de um método prático, que visa obter o volume de reservação diretamente de uma equação, sendo necessários 3 parâmetros (ABNT, 2007).

$$V = 0,042 P A T$$

Sendo:

V = volume do reservatório (L)

P = precipitação média anual (mm)

A = área de coleta de água de chuva (m²)

T = número de meses por ano sem precipitação ou de estiagem

Uma recomendação para definir o número de meses com pouca, ou nenhuma chuva, é apresentada por Dornelles *et al* (2010), sendo recomendada a contagem dos meses que apresentam precipitação média inferior a 100mm. Ainda, para locais onde a precipitação é sempre superior a este valor, recomenda-se o mínimo de 1 mês. Este critério reproduziu adequadamente o número de meses do período de estiagem nos postos selecionados.

Método Prático Alemão (ABNT, 2007)

Este é um método empírico, que adota como volume de reservação o valor mínimo entre 6% da demanda anual ou 6% da disponibilidade de água de chuva.

$$V = 0,06 [\min(P A ; 365 D)]$$

Sendo:

P = precipitação média anual (mm)

A = área de captação (m²)

D = demanda diária (L/dia)

V = volume do reservatório (L)

Método Prático Inglês (ABNT, 2007)

Neste método, o volume do reservatório é obtido pela aplicação de uma equação empírica, que adota diretamente 5% do volume anual de água pluvial captado.

$$V = 0,05 P A$$

Sendo:

P = precipitação média anual (mm)

A = área de captação (m²)

V = volume do reservatório (L)

2.5.2 Método Estatístico

Número de dias consecutivos sem chuvas (Netto, 1991 *apud* Kobiyama, 2002)

Adotar o risco de ocorrência de um determinado período de dias consecutivos sem chuva significativa (<1mm) é, também, um método corrente para determinar o volume para o reservatório de armazenamento de água de chuva. Onde a capacidade do reservatório é correspondente ao volume de água não-potável demandado no período sem precipitação. Para séries de precipitação diária com 40 anos ou mais de extensão pode-se utilizar o método da posição de plotagem da distribuição de Weibull, porém para séries menores que 40 anos, e com no mínimo 10 anos, deve-se realizar o ajuste à distribuição teórica de Gumbel (Chow, 1964). Com relação ao risco associado à ocorrência do período sem precipitação a ser adotado, não existem recomendações enfáticas, ficando a adoção do risco uma decisão de projeto a cargo do profissional responsável.

2.5.3 Métodos de Simulação

Método de Rippl (Rippl, 1883 *apud* Raudkivi, 1979)

O método de Rippl, também chamado de diagrama de massa, é um procedimento originalmente gráfico, porém simulável matematicamente, onde a curva de volumes médios mensais acumulados é graficada ao longo de um ano hidrológico.

A inclinação da linha do diagrama de massa indica a vazão assim, uma linha que une o primeiro e o último ponto representa uma demanda constante no tempo. A soma das duas maiores diferenças

absolutas (V_1 e V_2 na Figura 15a) entre a linha de demanda e a do volume acumulado será o volume do reservatório.

Quando a demanda não é a máxima possível aproveitável (disponibilidade média) a linha de demanda passa a ter uma inclinação menor. Buscam-se os pontos de tangência entre a linha do volume acumulado e a linha de demanda, e a soma das diferenças absolutas nestes dois pontos será o volume para a reservação (V_1 e V_2 na Figura 15b).

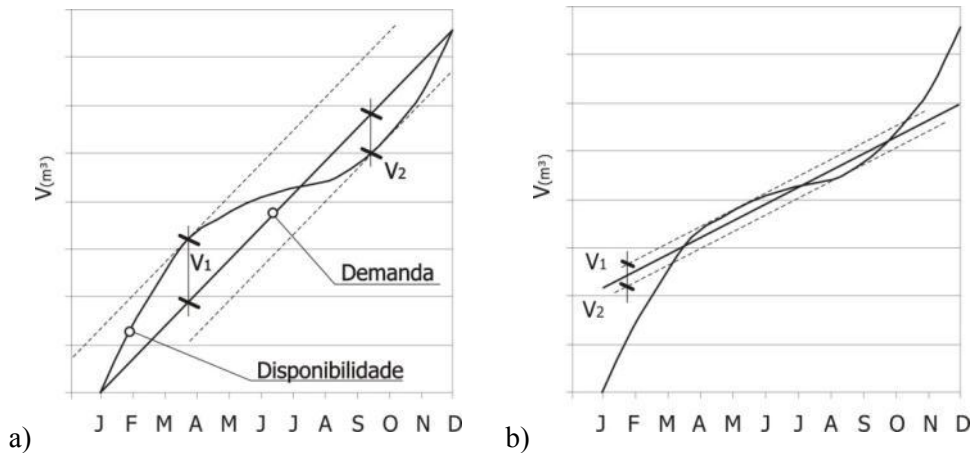


Figura 15 – a) Aproveitamento máximo - b) Aproveitamento aquém do máximo

Método da Simulação (ABNT, 2007)

Nesse método, os registros de precipitação são utilizados para simular o comportamento do volume de água no reservatório (balanço de massa). A simulação inicia com o reservatório cheio, representado por 0 (zero), de forma que, se o resultado do balanço, em um intervalo de tempo é positivo, automaticamente é utilizada representação de reservatório cheio. Apenas os déficits (valores negativos) são mantidos, e o volume do reservatório será definido como o maior déficit obtido com a série de dados de chuva do local, onde o reservatório será construído.

$$S_{i+1} = S_i + A P_i - D_i$$

se: $S_{i+1} > 0$ então $S_{i+1} = 0$

Sendo:

S = volume de água no reservatório (L)

P = precipitação diária (mm)

A = área de coleta de água de chuva (m^2)

D = demanda (L/dia)

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

2.5.4 Seleção do Método de Dimensionamento

A diversidade de métodos de dimensionamento é fonte de possíveis incertezas por parte do projetista que venha a elaborar um estudo de aproveitamento de água de chuva, que acaba por proliferar incertezas na avaliação econômica do sistema, já que o reservatório é o elemento mais significativo na composição de custos.

Os métodos práticos são os que apresentam maiores limitações, visto que adotam relações de simples proporcionalidade entre a precipitação e o volume do reservatório, fazendo com que estes não avaliem o comportamento sazonal da precipitação. Entretanto, são os métodos de maior facilidade de uso, e por serem sugeridos na norma técnica são, provavelmente, os com maior preferência de uso.

O método estatístico indexado pelo período provável de dias consecutivos sem chuvas apresenta uma limitação quanto à necessidade de dados, onde é necessária a disponibilidade de dados de precipitação diária em um tempo suficiente para ter-se representatividade estatística, e outra limitação é a de que na sua concepção espera-se que o reservatório esteja com sua capacidade máxima de água armazenada no início do período crítico, fato este não garantido e nem verificado pelo método.

Dentre os métodos de simulação, o método por balanço de massa vem substituindo o método de Rippl, principalmente, pela possibilidade em fornecer índices de desempenho como: nível de atendimento à demanda e percentuais de extravasamento. Os índices de desempenho são fundamentais para a tomada de decisão quando do dimensionamento do reservatório de água de chuva, e, inclusive, permitem uma adequada avaliação econômica ao conhecer-se o potencial de substituição da fonte de água, que é o fator chave nesta avaliação.

Mesmo sendo o método de simulação do balanço de massa um tanto trabalhoso, este é sem dúvida o mais indicado, possibilitando, ainda, sofisticadas como, a utilização do método de Monte Carlo para a obtenção de resultados inertes a anomalias climáticas e a possibilidade de incorporação de demandas variáveis.

2.6 Recontextualização com o Tema de Pesquisa e Organização do Trabalho

O Capítulo 2 desta tese teve como objetivo descrever os princípios do aproveitamento de água de chuva, apresentar seus benefícios e limitações, bem como as normativas e deliberações governamentais que visam sua maior abrangência de utilização.

Sendo que o exposto, até então, conforma um panorama em que o aproveitamento de água de chuva tende a crescer fundamentado por argumentos baseados nos benefícios, passa a ser desejado quantificar com maior exatidão os benefícios tangíveis buscar soluções para os fatores que pesam contra a implementação das técnicas de aproveitamento de água de chuva.

Dentre os benefícios tangíveis a suposta contribuição na redução dos alagamentos urbanos é, possivelmente, o menos abordado, ou abordado com especificidades que não permitem a extrapolação dos resultados obtidos, nem ao menos para aproveitamentos de água de chuva em uma mesma cidade.

Visto que a contribuição na redução dos alagamentos urbanos é um dos argumentos para a adoção do aproveitamento de água de chuva no ambiente urbano, especialmente em regiões com boa disponibilidade de água, passa a ser desejável conhecer este efeito com uma fundamentação sistemática, que possibilite a eventual consolidação do aproveitamento de água de chuva como, de fato, uma medida de controle do escoamento superficial, contribuindo na redução dos alagamentos urbanos.

A quantificação do efeito na vazão da rede pluvial tem influência direta da capacidade de armazenamento da água precipitada na área de captação, no entanto os métodos correntes de dimensionamento para o volume do reservatório de água de chuva não são adequados para estabelecer um padrão, nem fornecem índices de desempenhos para balizar o projeto do sistema de aproveitamento de água de chuva. Faz-se, então, relevante a proposição de um método de dimensionamento que sane estas falhas.

Assim, no Capítulo 3 são apresentadas as estratégias metodológicas aplicadas no presente trabalho, no Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos das aplicações metodológicas e suas cabíveis discussões. No Capítulo 5 são tecidas as conclusões finais a respeito dos resultados das aplicações metodológicas e respondidos os objetivos proferidos a princípio do desenvolvimento do trabalho. Em sequência no Capítulo 6 são apresentadas sugestões para trabalhos futuros e por fim seguem os anexos.

3 Metodologia

3.1 Descrição Geral

O presente trabalho aborda o tema do aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial, visto que com frequência é atribuída à capacidade de redução de alagamentos urbanos.

A princípio da revisão bibliográfica do tema detectou-se a necessidade de estabelecer uma maneira padrão de dimensionamento do reservatório de armazenamento de água de chuva, já que este é o elemento mais significativo na avaliação do efeito na drenagem urbana. Os métodos de dimensionamento correntes na bibliografia são bastante divergentes, apresentando valores de volume de reservação distintos para cálculos com as mesmas premissas, e, também, pelo fato de o dimensionamento sofrer influência de diversos aspectos (área de captação da chuva, demanda, regime pluviométrico e tipo de pré-tratamento) que apresentam grande variabilidade.

Assim, propõe-se a definição de uma técnica dimensionamento por meio de ábacos obtidos da simulação numérica pelo método de Monte Carlo, com base em séries sintéticas de precipitação criadas pelo método de Cadeia de Markov de primeira ordem para obter os dias chuvosos, e sendo a magnitude da precipitação diária por meio de números aleatórios que reproduzem a distribuição de probabilidade dos dados observados. O intuito de obter ábacos de dimensionamento do reservatório é de fornecer aos projetistas informações a respeito da eficiência de atendimento à demanda por água não potável e volumes de extravasamento, em função das características do sistema de aproveitamento de água de chuva projetado, e que, pelo método de Monte Carlo confere resultados menos sensíveis a períodos anômalos climaticamente que interferem de modo significativo na simulação por balanço de massa no reservatório de armazenamento de água de chuva.

Os ábacos para dimensionamento do reservatório de armazenamento de água de chuva foram gerados para todas as capitais estaduais brasileiras mais o distrito federal com volumes unitários e demandas unitárias, ambos indexados pela área de captação.

A obtenção dos índices de influência na redução dos alagamentos urbanos foi realizada para as condições pluviométricas e de demandas por água não potável para o município de Porto Alegre, onde, por meio das séries sintéticas de precipitação e demanda, foi simulado numericamente o comportamento da vazão propagada na rede pluvial em lotes hipotéticos com características físicas e de consumo de população de baixa renda e alta renda, e, ainda, foi investigado os resultados para distintos cenários (nível de atendimento a demanda, curva de permanência do volume de espera e área da bacia de drenagem pluvial) e critérios de projeto (tempo de retorno para os hidrogramas de projeto).

A partir da discussão a respeito do tema de aproveitamento de água de chuva pode-se estruturar o trabalho presente em 2 etapas:

- Estabelecimento de um método padrão de dimensionamento de reservatórios de água de chuva
- Avaliação do efeito do aproveitamento de água de chuva na vazão da rede pluvial

Na Figura 16 estão dispostas em forma de fluxograma as etapas metodológicas necessárias para atingir os objetivos deste trabalho, sendo os itens preenchidos com cinza os referentes aos 2 itens acima listados.

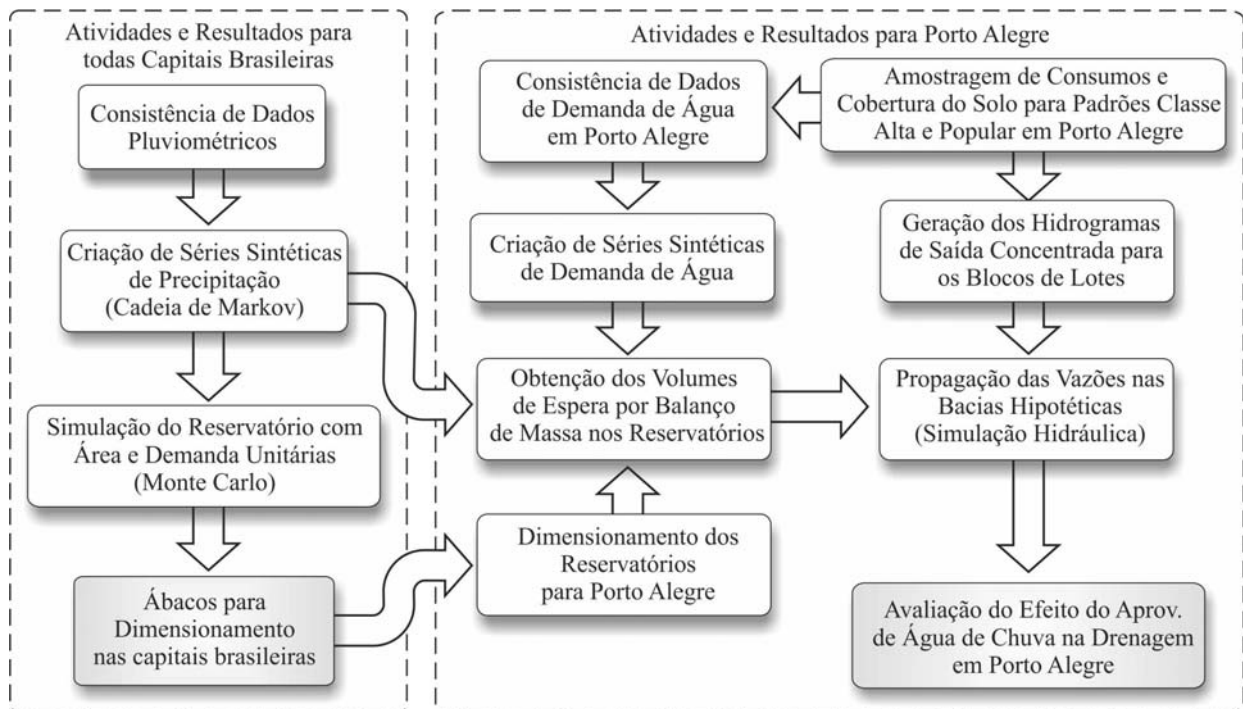


Figura 16 – Fluxograma das etapas metodológicas

3.2 Ábacos de Dimensionamento para as Capitais Estaduais do Brasil

3.2.1 Seleção dos Dados Pluviométricos

O presente trabalho pretende obter conclusões a respeito da influência do aproveitamento de água de chuva no contexto urbano, assim o processo de seleção dos dados pluviométricos diários seguiu os seguintes critérios:

- Séries históricas com o mínimo de 10 anos de extensão;
- Postos pluviométricos nas capitais estaduais brasileiras e o distrito federal (totalizando 27 locais), ou representativos da precipitação nelas.

O tratamento de falhas foi necessário, apenas, para obtenção das precipitações mensais, sendo adotado o descarte do mês com mais de 5 dias de falha. Para meses que apresentaram 5, ou menos,

dias com falhas nos dados de precipitação foi considerado que não ocorreu precipitação nos dias com falha de dados.

3.2.2 Séries Sintéticas de Precipitação

3.2.2.1 Características das Séries de Precipitação

A utilização de séries de precipitação diárias observadas em modelagem hidrológicas pode apresentar algumas características indesejadas, tais como pequena amostragem, falhas e períodos anômalos, e sendo os resultados da modelagem sensíveis a estas adversidades, uma alternativa é a utilização de series sintéticas que reproduzam as características estatísticas observadas nas amostras de dados disponíveis. Visto que para a geração de séries sintéticas é necessário conhecer as características estatísticas das séries de dados observados, é apresentada aqui uma caracterização das séries temporais de precipitação diária.

Uma série hidrológica, incluindo séries de precipitação, é uma das possíveis realizações de um processo estocástico, podendo considerar que a série observada é resultado de um “sorteio” de valores aleatórios que seguem uma determinada lei probabilística (Barth *et al* 1987).

A ocorrência de precipitações é caracterizada por pulsos, ou células, que têm duração influenciada pelo tipo de formação da chuva, se frontal mais longa, e se convectiva mais curta. A distribuição teórica de probabilidade de ocorrência de Poison é freqüentemente utilizada na representação sintética da origem de células de chuva (Figura 17), sendo as durações e a magnitudes das chuvas mais bem ajustadas por distribuições exponenciais (Figura 18) (Kilsby *et al*, 2007).

Ainda, segundo Haan (1977) os modelos estocásticos podem ser mais complexos ao assumir que os parâmetros de distribuições de probabilidades dependem da época do ano.

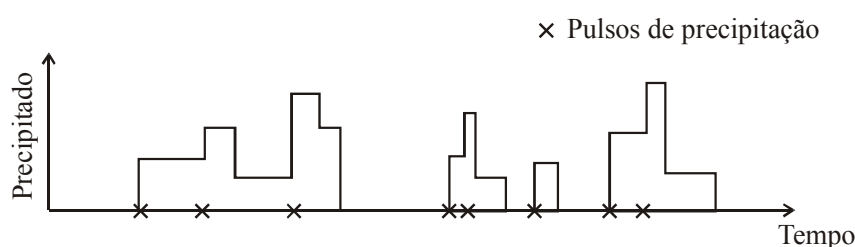


Figura 17 – Pulsos característicos de uma série de precipitação (adaptado de: Kilsby *et. al.*, 2007)

As características estatísticas da precipitação variam significativamente no espaço e, ao analisar a dimensão territorial do Brasil, é possível delimitar regiões homogêneas onde estas características são semelhantes, evidenciando a necessidade de dimensionar os sistemas de aproveitamento de água de chuva levando-se em conta o regime de chuvas da região (Figura 19).

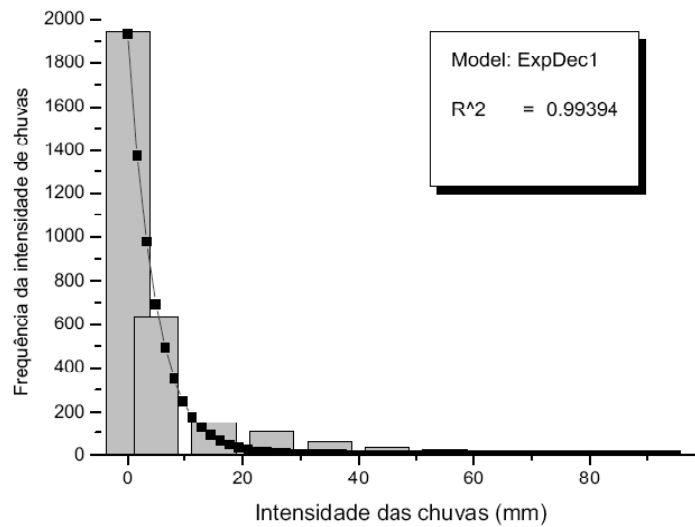


Figura 18 – Histograma de frequência de precipitações em Cascavel/PR (Pedron e Klosowski, 2008)

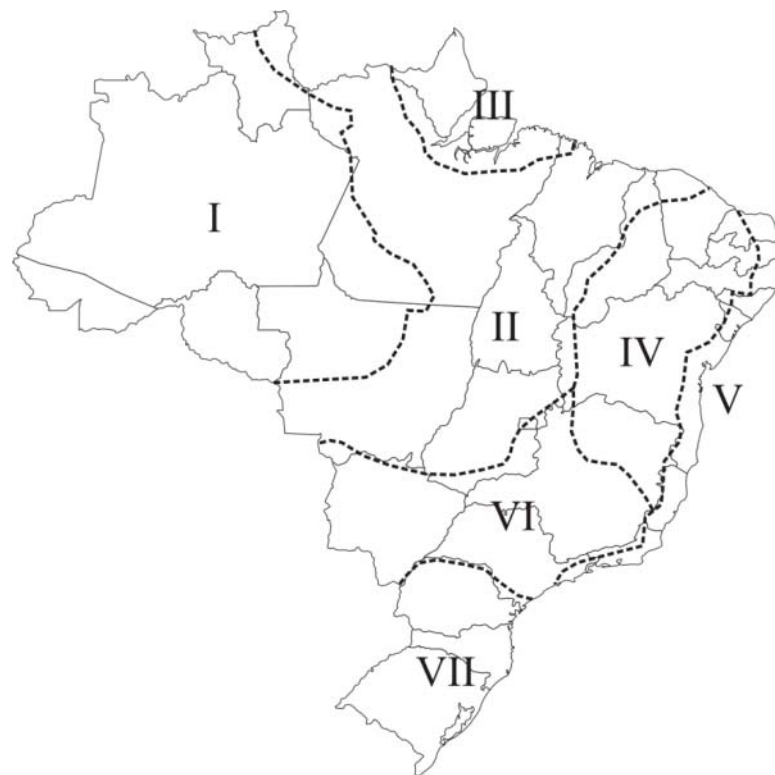


Figura 19 – Regiões homogêneas quanto à precipitação (Baena *et. al.* 2005)

3.2.2.2 Geração de Séries Sintéticas

A utilização de dados gerados sinteticamente é frequentemente aplicada para a simulação de processos hidrológicos. Segundo Siegerstetter (1971), a modelagem determinística pode não avaliar condições extremas de um sistema hidrológico, por escassez de dados e incertezas de aquisição e determinação de parâmetros. Nestes casos, é recomendada a utilização de séries sintéticas, para assim, obter uma amostragem artificial mais equivalente à população de dados, onde é possível a ocorrência de situações extremas não contempladas na amostra de dados medidos. Ainda, as séries sintéticas são empregadas com o objetivo de reduzir custo com a aquisição de dados.

Segundo Wilks (1999), uma série sintética é o resultado da associação de séries de dados reais com números aleatórios produzidos por algoritmos computacionais, a fim de gerar sequências de variáveis aleatórias que se assemelham aos dados climáticos reais.

Em Oliveira (2003), é apresentado o desenvolvimento de uma rotina para a geração de séries sintéticas de precipitação para o Estado do Rio de Janeiro. O modelo foi desenvolvido com base na premissa de ter ocorrido em um dia apenas um evento de chuva, o qual é estatisticamente equivalente aos eventos que ocorreram diariamente na série histórica.

A rotina utiliza Cadeia de Markov de primeira ordem para obter os dias chuvosos (esta rotina é apresentada no item 3.2.2.3), que, então, tem o total diário precipitado determinado por uma variável aleatória com distribuição de frequência de Pearson tipo III, cujos parâmetros utilizados média, desvio padrão e assimetria, foram obtidos da amostra disponível de dados medidos consistentes, independente para cada mês.

$$P' = \mu + \frac{2s}{g} \left(\left(\frac{g}{6} (x' - \frac{g}{6}) + 1 \right)^3 - 1 \right)$$

Sendo:

- P' precipitação diária sintética (mm)
- μ média da soma móvel de 30 dias da precipitação total diária (mm)
- s desvio padrão da soma móvel de 30 dias precipitação total diária (mm)
- g coef. de assimetria da soma móvel de 30 dias da precipitação total diária, adimensional
- x' variável aleatória normal padronizada, adimensional

O coeficiente de assimetria é obtido pela seguinte equação:

$$g = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i - \mu}{s} \right)^3$$

A obtenção dos parâmetros estatísticos constantes em cada um dos 12 meses do calendário Gregoriano (de janeiro a dezembro) para a geração de séries sintéticas causa alterações abruptas no padrão de chuvas já que no intervalo de apenas um dia os parâmetros podem ser muitos distintos, o que de fato não ocorre na realidade. Assim, os parâmetros são obtidos por janelas móveis de 31 dias, compreendendo os 15 dias anteriores e os 15 dias posteriores e mais o dia central da janela, sendo o resultado atribuído para o dia central da janela. Desta forma, é possível representar a variação dos parâmetros estatísticos de modo contínuo, o que é mais similar ao que ocorre na realidade.

Conforme descrito por Oliveira (2003), após a geração da série sintética de precipitação diária cabe ainda realizar uma correção das médias e desvios padrão. Esta correção é realizada para a média com a razão entre as médias sintéticas e observadas, sendo a série proporcionalizada por esta razão.

$$P'' = \frac{\mu'}{\mu} P'$$

Sendo:

P'' série sintética de precipitação com a média corrigida (mm)

μ' média da soma móvel de 30 dias da precipitação sintética total diária (mm)

A correção do desvio padrão utiliza a razão entre os desvios da série conforme a

$$P_C = (P'' - \mu'') \frac{s''}{s} + \mu''$$

Sendo:

P_C série sintética de precipitação diária com o desvio padrão corrigido (mm)

s'' desvio padrão da série sintética de precipitação diária com a média corrigida (mm)

μ'' média da soma móvel de 30 dias da precipitação sintética total diária com a média corrigida (mm)

O modelo CLIMABR desenvolvido em Oliveira (2003) permite, ainda, a obtenção das durações e intensidades máximas para os eventos sintéticos de precipitação. No entanto, conforme o próprio autor, os resultados obtidos apresentaram limitações em representar adequadamente estas características dos eventos. Por não serem adequados os resultados, e, também, pela intensidade sintética das precipitações ter pouca, ou nenhuma, influência na simulação do balanço de massa dos reservatórios este dado não foi utilizado no presente trabalho.

O modelo CLIMABR utiliza o mesmo método de obtenção da precipitação diária do modelo norte americano CLIGEN, que gera elementos meteorológicos sintéticos, este modelo é descrito em Nicks *et. al.*(1995). Uma avaliação do desempenho do modelo CLIGEN foi realizada por Evangelista *et. al.* (2006) onde os valores simulados apresentaram altas correlações com os observados, conferindo evidente segurança que o modelo oferece em gerar dados climáticos para uso em modelos de simulação agronômicos e hidrológicos.

No entanto, avaliar o resultado do gerador de precipitações sintéticas apenas por correlação entre as séries não é uma forma adequada, pois não detecta tendências como, por exemplo:

- amplificação de erros na faixa de valores com altas precipitações;
- gerar sinteticamente dias chuvosos com frequência distinta da obtida com a série observada.

Estes desvios tendenciosos têm sua origem calcada no ajuste da função de probabilidades que utiliza os parâmetros estatísticos da série observada (médias, desvios padrão e assimetrias), que, inevitavelmente, terá uma fração dos dados aleatórios gerados (precipitação sintética) negativos. Isto causa um comportamento sistemático de as séries sintéticas terem menos dias chuvosos, e médias mensais e anuais menores aos valores da série observada, ainda, com maior gravidade, para o caso de séries com maiores extensões de tempo (30 anos ou mais).

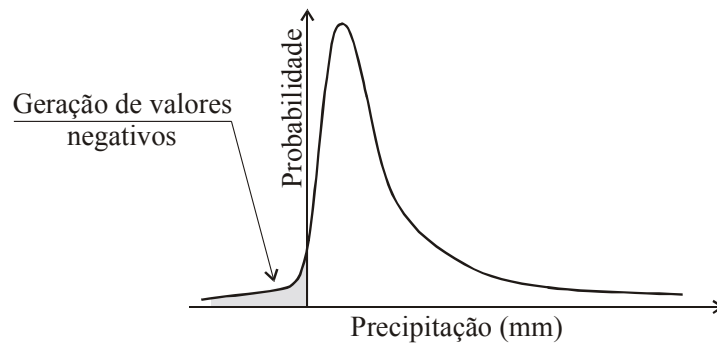


Figura 20 – Zona com geração de valores de precipitação sintética negativa

Então, para eliminar este problema foram adicionados dois parâmetros auxiliares (constantes A e B da equação abaixo) na equação de geração de chuva sintética.

$$P' = \mu + \frac{A s}{g} \left(\left(\frac{g}{6} \left(x' - \frac{g}{6} \right) + 1 \right)^3 - 1 \right) + B$$

Ambos os parâmetros (A e B) foram alterados em um processo de tentativa-e-acerto que teve o objetivo de os valores do nível de atendimento à demanda e os de extravasamento da série observada ficassem dentro das bandas de confiança de 90% dos mesmos índices obtidos com a simulação do sistema de aproveitamento de água de chuva por balanço de massa para o conjunto de séries sintéticas criadas. A simulação do sistema de aproveitamento de água de chuva por balanço de massa é descrita e detalhada no Item 3.2.3.

O parâmetro A pondera o termo da equação que possui o desvio padrão, a assimetria e a variável aleatória com distribuição normal padrão. Seu valor original é 2 e foi alterado minimamente para atender o critério de aceito (dentro da banda de confiança). A influência da alteração do parâmetro A é claramente visível em histogramas de freqüência, onde a forma assimétrica é modificada. Valores inferiores a 2 reduzem a geração de eventos com grande precipitação, e valores superiores a 2 tem o efeito contrário, elevando o número de eventos com grande precipitação (Figura 21). Este ajuste permite adequar os índices de extravasamento das séries sintéticas com o da série observada, já que este índice é influenciado pelas precipitações de maior magnitude.

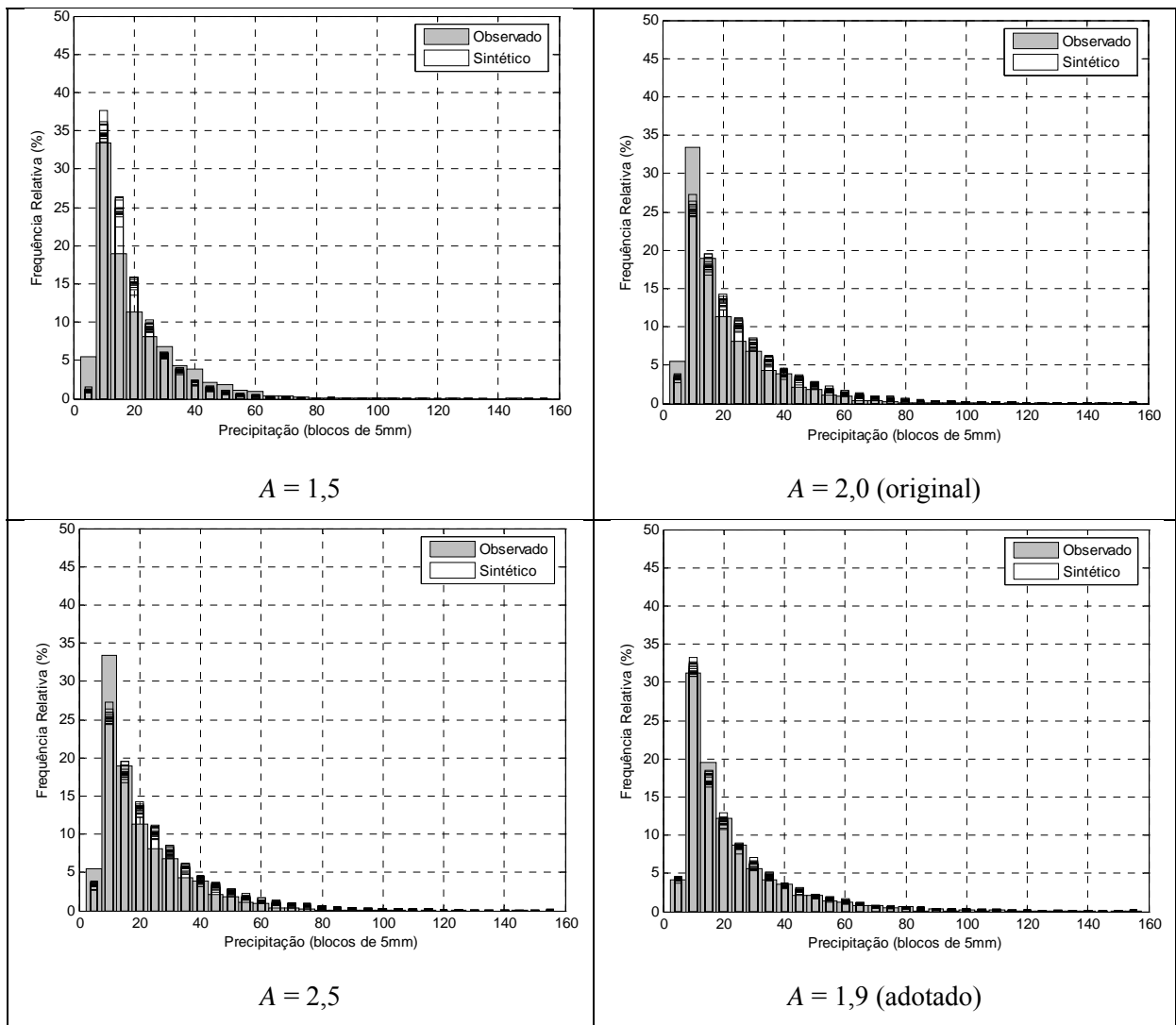


Figura 21 – Efeito da alteração do parâmetro auxiliar A

A modificação forçada da forma do histograma (ajuste do parâmetro A) não tem a capacidade de corrigir os valores médios de longo período (medias mensais e anuais), assim, a alteração do parâmetro B permite, além de aumentar ou reduzir as médias de longo período, ajustar o número de dias chuvosos. O efeito deste ajuste é pouco visível nos gráficos de barra com as médias mensais de precipitação, sendo necessário avaliar os resultados numéricos para visualizar o efeito da alteração do parâmetro B.

Na Figura 22 são apresentados os gráficos de barra com as precipitações médias mensais das séries sintéticas (barras sem preenchimento) em comparação com as observadas, sendo, também, indicada a média anual obtida com para cada valor do parâmetro B testado. Para o posto exemplificado a precipitação média observada é de 1.363mm/ano, o que poderia indicar, neste caso que o valor de 0,5 para o parâmetro B fosse o mais indicado, no entanto, conforme já mencionado, o critério de ajuste dos parâmetros foi o de os valores de nível de atendimento à demanda e de extravasamento da simulação obtidos com a série observada ficassem dentro das bandas de confiança de 90% dos mesmos índices obtidos com a simulação para o conjunto de séries sintéticas criadas.

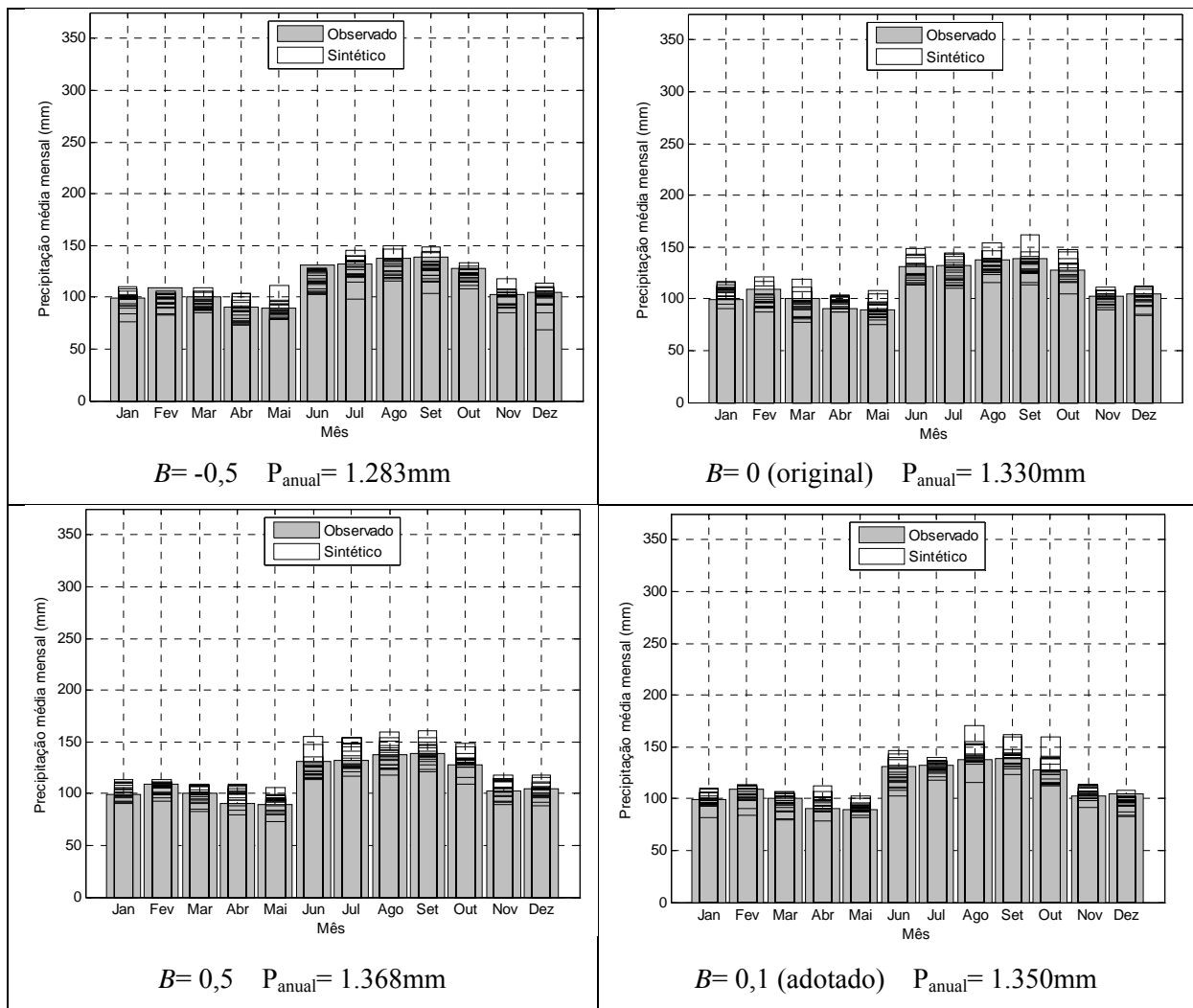


Figura 22 – Efeito da alteração do parâmetro auxiliar B nas precipitações médias mensais

Quanto ao tamanho das séries sintéticas a serem geradas, Barth *et. al.* (1987) indicam que deve ser tal que compreenda o período de planejamento do reservatório, o que é aplicado no caso de reservatório para geração de energia hidrelétrica, porém no caso de ser um reservatório para aproveitamento de água de chuva esta definição do período de planejamento não tem sentido.

Assim, o tamanho das séries sintéticas de chuva foi definido em função da busca da série mínima para que fosse estabelecida a estabilidade do índice de nível de atendimento à demanda, índice este obtido com base na simulação do reservatório por balanço de massa descrita no Item 3.2.3 deste trabalho.

A estabilidade do índice foi verificada a partir de 30anos de simulação, esta contatação foi obtida para postos em diversas regiões, volumes de reservação e para demandas com variadas magnitudes, a fim de garantir a validade da adoção deste tamanho de série para todas as localidades objeto desta pesquisa (todas capitais estaduais brasileiras).

Na Figura 23 são apresentados, como exemplo para as cidades de Porto Alegre e Brasília, os gráficos do comportamento dos valores do nível de atendimento à demanda para cada série sintética

(em linhas cinzas) e o valor médio delas (em linhas pretas), isto para as demandas unitárias 1L/dia.m² e 2L/dia.m² com volume unitário de 50L/m².

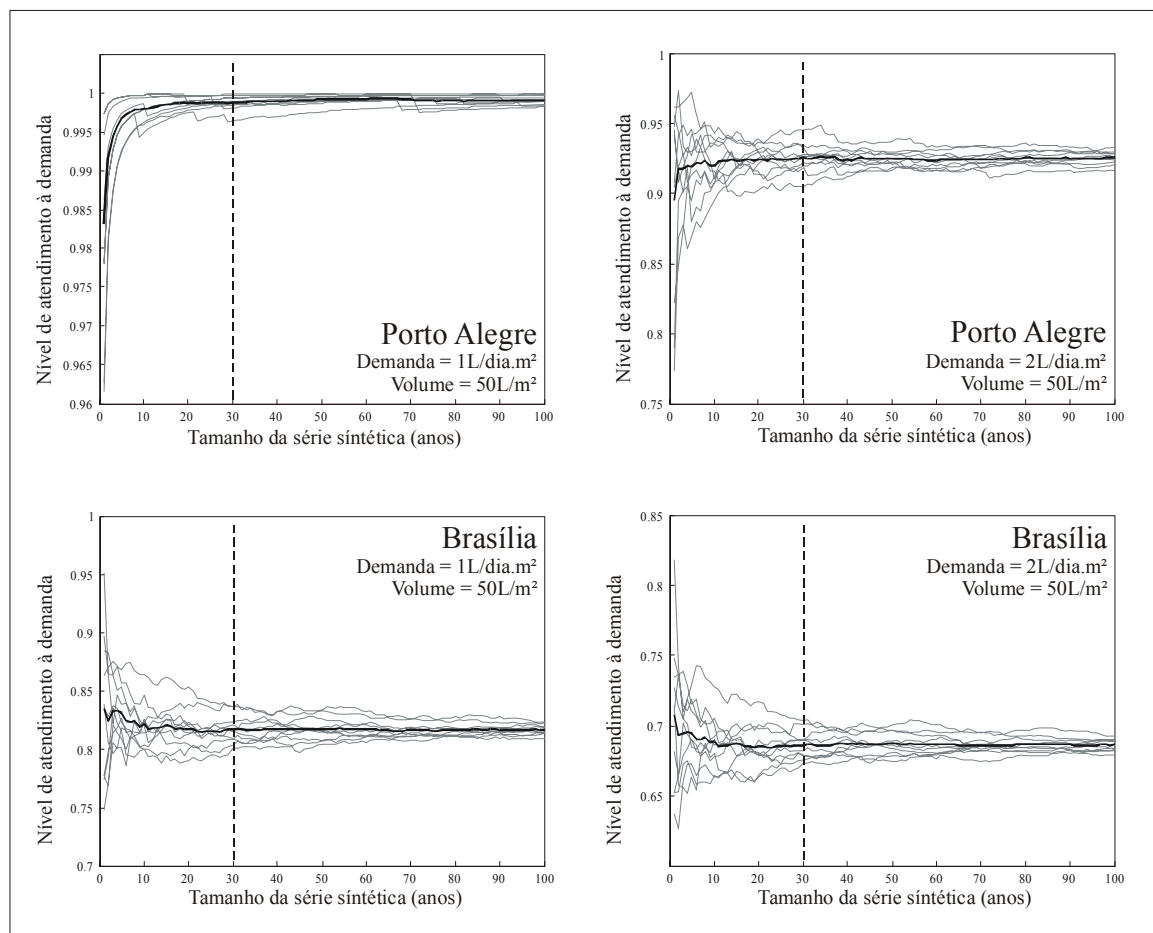


Figura 23 – Nível de atendimento à demanda em função do tamanho das séries sintéticas

3.2.2.3 Cadeia de Markov

A modelagem estocástica é empregada freqüentemente na representação de processos hidrológicos que apresentam aleatoriedade, e que, devido a isto, podem inserir tendências no resultado de uma modelagem puramente determinística, no caso do arranjo de dados da série de dados observados não causar um cenário crítico.

Os modelos estocásticos contínuos, freqüentemente empregados na representação de fenômenos hidrológicos, são baseados em processos do tipo: puramente aleatório, Markoviano de 1^a ordem, Markoviano de ordem superior e Markoviano com periodicidade (Haan, 1977).

Processo puramente aleatório é aquele que independe totalmente do estado anterior da variável. Já um processo do tipo Markoviano é quando o valor atual de uma variável depende apenas de um número finito de valores antecessores ao atual, sendo o restante dos valores passados irrelevantes na estimativa do valor atual (Haan, 1977).

Modelos de Markov de primeira ordem são os que utilizam apenas um estado passado da variável para estimar o seu valor atual. Estes modelos são empregados em séries de variáveis hidrológicas que apresentam significativa correlação serial, sendo o valor da variável aleatória dependente do valor observado anteriormente mais uma componente aleatória (Haan, 1977).

A modelagem de processos Markovianos de ordem superior é a generalização do modelo de Markov de primeira ordem, onde são utilizados mais de um estado anterior da variável, ou ainda, série de alguma outra variável, que não a ser estimada.

Quando a sazonalidade da variável a ser estimada é significativa, são utilizados os modelos Markovianos com periodicidade, pois os parâmetros estatísticos são distintos ao longo do tempo, e influenciam diretamente na modelagem estocástica. Assim, devido à periodicidade anual dos processos hidrológicos e climáticos, as variáveis discretizadas em intervalos inferiores a um ano (dia, mês) corresponderão, necessariamente, a processos não estacionários (Barth *et. al.*, 1987).

Os modelos recém mencionados são utilizados para a modelagem de dados contínuos, ou seja, os dados podem assumir valores quaisquer, seguindo a distribuição natural de probabilidades. A variável hidrologia é classificada quanto a sua discretização de estado e de intervalo de tempo.

Considerando o índice pluviométrico diário, temos uma variável com estado contínuo e discretizada no tempo e, ao considerar se o dia foi chuvoso ou não, temos, então, uma variável também discretizada no tempo, porém de estado discreto.

Assim, quando a variável é de estado discreto a modelagem estocástica é dita em cadeia, e combinado isso a um processo Markoviano tem-se a modelagem por Cadeia de Markov.

A Cadeia de Markov de primeira ordem é um processo estocástico em que o valor da variável no tempo t , X_t , depende apenas do valor da variável no tempo $t-1$, X_{t-1} , não havendo dependência de estados anteriores, X_{t-2} , X_{t-3} , ..., X_0 , que o processo passou. Podendo ser escrito da seguinte forma:

$$\mathbf{prob}(X_t = a_j | X_{t-1} = a_i)$$

Esta probabilidade condicional expressa a probabilidade da variável X no tempo t estar no estado a_j , dado que a variável X estava no estado a_i no tempo $t-1$. O estado a é uma simples divisão em faixas do estado de X . A probabilidade de alteração de estado é comumente chamada de probabilidade de transição de estado, e é expressa por p_{ij} . Se $p_{ij}(t)$ é independente de t ($p_{ij}(t) = p_{ij}(t + \tau)$ para quaisquer t e τ) então a Cadeia de Markov é dita homogênea, assim:

$$\mathbf{prob}(X_t = a_j | X_{t-1} = a_i) = p_{ij}$$

Cadeias de Markov de ordem superior podem ser definidas para representar processos estocásticos, em que a variável depende de mais de um estado anterior. Uma Cadeia de Markov de n -ésima ordem é definida por:

$$\text{prob}(X_t = a_j | X_{t-1} = a_i, X_{t-2} = a_k, X_{t-3} = a_e, \dots, X_0 = a_q)$$

Será tratada aqui apenas a Cadeia de Markov de primeira ordem devido à sua utilização neste trabalho.

Se a variável é dividida em m estados possíveis, então a matriz de transição possuirá m^2 valores de probabilidade de transição. A cada passo, a variável deve manter seu estado i ou alterar-se para um estado $m-1$ restantes. A soma das m probabilidades de transição de estado possíveis é 1:

$$\sum_{j=1}^m p_{ij} = 1$$

Com esta restrição, é exigido que $m(m-1)$ probabilidades de transição de estado sejam estimadas. As probabilidades de transição de estado podem ser apresentadas pela matriz M com dimensão $m \times m$:

$$M = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & & p_{2m} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \dots & p_{mm} \end{bmatrix}$$

A estimativa das probabilidades \hat{p}_{ij} de transição é obtida pela análise de freqüência de dados observados, contabilizando o número de transições ocorridas de cada estado i para estado j :

$$\hat{p}_{ij} = n_{ij} / \sum_{j=1}^m n_{ij}$$

A divisão em muitos níveis de estado pode acarretar perda de representabilidade do processo, ao passo que algumas transições de estado podem ter probabilidades próximas à zero (Haan, 1977).

Da mesma forma que a estimativa dos parâmetros para a obtenção da precipitação diária as probabilidades de transição foram obtidas por janelas móveis atribuindo-se o resultado ao dia central, para assim, também, não causar alterações abruptas quando da mudança do mês pelo calendário Gregoriano.

A extração das probabilidades é, ainda, explorada quanto ao valor mínimo de lâmina de precipitação para considerar o dia chuvoso em Sedyama *et. al.* (1978) *apud* Oliveira (2003) e também em Virgens Filho (1997; 2001) *apud* Oliveira (2003), onde, respectivamente, consideraram dia sem chuva aqueles em que eram registrados valores iguais ou menores que 0,1mm e 0,2mm, respectivamente.

3.2.3 Simulação do Reservatório de Aproveitamento de Água de Chuva

A simulação dos reservatórios foi realizada por balanço de massa conforme o Método da Simulação (ABNT, 2007), excetuando-se por não considerar o reservatório cheio a princípio da simulação, fato este que é mais adequado, visto que é o que ocorre na realidade (Dornelles *et. al.*, 2010), e pela adição do coeficiente de descarte do filtro de pré-tratamento.

A partir da simulação obtém-se resultados de nível médio de atendimento à demanda e o percentual de extravasamento do sistema de aproveitamento de água de chuva para demandas fixas diárias por metro quadrado. Devido ao fato de empregar-se demandas fixas, o efeito da sazonalidade anual da demanda não é incorporado no resultado, já que este é um dado bastante variável e de difícil obtenção.

Os fluxos da simulação são os seguintes parâmetros constantes:

- Coeficiente de escoamento e perdas na coleta e condução ao reservatório (c) = 0,95
- Coeficiente de descarte do filtro de pré-tratamento (cd) = 0,10
- Perda por evaporação no reservatório = zero
- Chuva significativa = 2mm

c : coef. de escoamento do telhado

cd : coef. de descarte do filtro de pré-tratamento

V_R : capacidade do reservatório (L)

V_E : volume extravasado (L)

P : precipitação diária (mm)

D : demanda diária (L/dia)

t : índice de tempo (dia)

Cálculo do volume extravasado

se: $V_{t-1} + (1-cd).c.P_t - D > V_R$

então: $V_E = V_{t-1} + (1-cd).c.P - D - V_R$

senão: $V_E = 0$

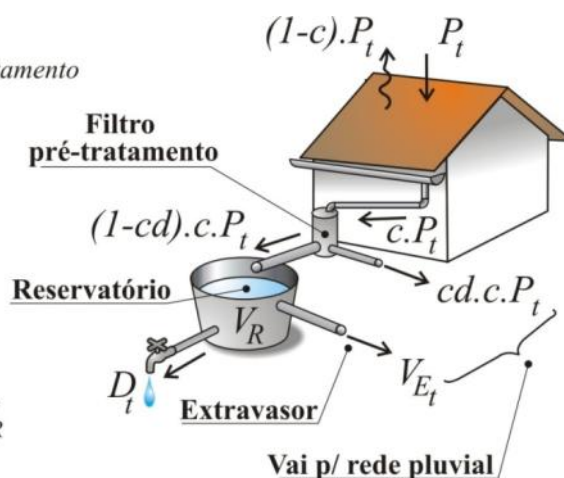


Figura 24 – Fluxos do balanço de massa para a simulação do sistema de aproveitamento de água de chuva

3.2.4 Método de Monte Carlo

O método de Monte Carlo pode ser definido como a utilização de um conjunto de números aleatórios para o cálculo de alguma variável que apresente comportamento estocástico, sendo que um processo estocástico é caracterizado por uma sequência de estados que se alteram de modo aleatório. Computacionalmente são utilizados algoritmos determinísticos capazes de gerar sequências pseudo-aleatórias que assemelham-se suficientemente ao comportamento de uma variável verdadeiramente aleatória (Kalos e Whitlock, 2008).

Em relação ao nome do método (Monte Carlo), ele foi empregado pelos cientistas John von Neumann, Stanislaw Ulam e Nick Metropolis durante a década de 1940 que trabalhavam no desenvolvimento de armas nucleares, sendo que a inspiração para nomear o método foi no processo estocástico que ocorre em jogos de carta, processo semelhante observado na colisão de partículas atômicas (Metropolis, 1987).

O desenvolvimento e popularização do método foram impulsionados a partir do surgimento do computador, já que a elevada quantidade de dados processados é uma característica inevitável quando se realizam simulações por Monte Carlo.

Na hidrologia, esta metodologia é empregada frequentemente no dimensionamento de reservatórios, visto que o dimensionamento é realizado com base na simulação do reservatório, ficando este atrelado a um único resultado obtido da série de vazões observadas.

Segundo Barth (1987), a série histórica de dados existente é apenas uma das possíveis realizações de um processo estocástico, que foi obtido por um “sorteio”, segundo algum conjunto de leis probabilísticas. Um novo “sorteio” geraria uma nova série, distinta da primeira, no entanto, igualmente provável. Estas novas séries são, então, empregadas em novas simulações gerando resultados aleatórios, que no caso deste trabalho serão:

- o nível de atendimento do sistema de água de chuva à demanda por água não potável;
- percentual de extravasamento para a rede pluvial pública;
- curvas de permanência do volume disponível de água no reservatório de armazenamento de água de chuva.

Estes resultados permitem avaliar o comportamento do sistema de aproveitamento de água de chuva para um montante de séries sintéticas, fornecendo, assim, condições para estimar a variabilidade destes resultados que são fortemente influenciados como foi o caso em Dornelles *et al.* (2010), onde a realização da simulação com a série invertida cronologicamente obteve resultados significativamente distintos, indicando ser adequada, neste caso, a utilização do método de Monte Carlo.

A definição do número mínimo de séries sintéticas necessárias para o método de Monte Carlo depende, por exemplo, do tipo de distribuição de probabilidades e do número de parâmetros do modelo, não havendo uma recomendação válida para todo tipo de aplicação. Matala (2008) explorou o método buscando uma indicação para a determinação do número mínimo de repetições, ou séries sintéticas no caso de um modelo de simulação hidrológica, e concluiu que a única maneira é realizar mais amostragens e analisar a similaridade entre os resultados.

Assim, o número de séries sintéticas no método de Monte Carlo foi arbitrado em 20 séries, sendo testado este valor, conforme recomendação apresentada por Barth *et al* (1987), para verificar se

as precipitações médias mensais observadas estavam dentro da banda de 90% da dispersão obtida com as séries sintéticas. O teste foi positivo para todos os locais de interesse deste trabalho (todas as capitais estaduais brasileiras mais o Distrito Federal), sendo adotado, então, um conjunto de 20 séries sintéticas para a geração dos ábacos de dimensionamento e na simulação do efeito na drenagem de sistemas de aproveitamento de água de chuva. Este valor também mostrou-se adequado quando comparados os valores médios entre diversos conjuntos de 20 séries sintéticas de precipitação, onde a variação observada foi pequena.

3.2.5 Geração dos Ábacos para Dimensionamento de Reservatório de Aproveitamento de Água de Chuva

O método de dimensionamento de reservatório de aproveitamento de água proposto é por meio de ábacos, que a partir de informações de demanda diária e de área de captação de chuva é possível determinar o volume necessário de reservação, para que, o sistema de aproveitamento de água de chuva tenha determinado nível de atendimento à demanda ou de extravassamento.

A geração dos ábacos para dimensionamento de reservatório de aproveitamento de água de foi realizada a partir de 20 séries sintéticas independentes de precipitação. Cada série sintética foi simulada com cada uma das combinações possíveis entre demandas unitárias e volumes unitários.

A discretização dos valores de demandas e volumes, utilizados para a construção dos ábacos, foi tal que tivesse maior densidade nas regiões de maior variabilidade das curvas dos ábacos, sendo que os valores adotados para compor as combinações foram:

- Demandas unitárias – 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 7,5; 10; 12,5; 15 [L/dia.m²]
- Volumes unitários – 1; 2; 3; 5; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 75; 100 [L/m²]

A Figura 25 demonstra o processo de construção dos ábacos de dimensionamento, que é constituído de 3 etapas:

- Tratamento e extração das estatísticas da série observada;
- Geração das séries sintéticas;
- Obtenção do desempenho do sistema de aproveitamento de água de chuva por meio da simulação do balanço de massa para as combinações de demandas e volumes, e para cada uma das séries sintéticas.

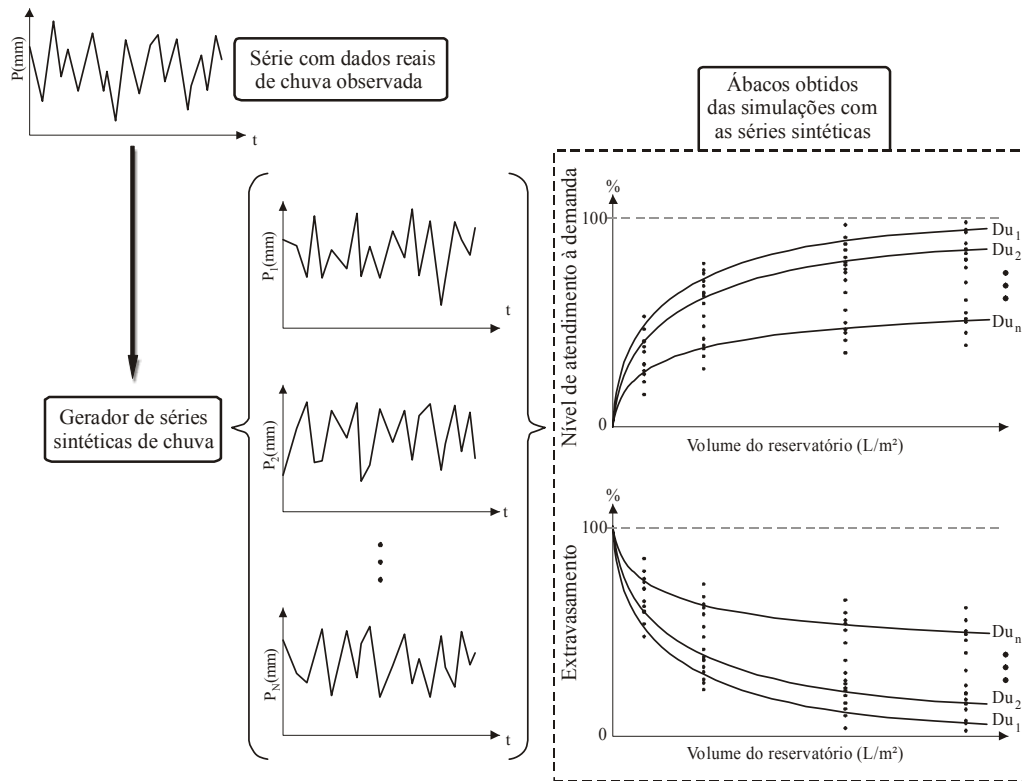


Figura 25 – Processo de obtenção das curvas dos ábacos de dimensionamento para reservatório de aproveitamento de água de chuva

Além da geração dos ábacos, foi investigada a possibilidade de ajustar equações analíticas com 4 parâmetros para representar as curvas gráficas em função da demanda unitária e do volume unitário de reservação ($F(D_u, V_u)$). Foram testadas algumas equações que fornecessem o comportamento assintótico ao passo que a variável independente (volume unitário) fosse crescendo, no entanto, os ajustes não atingiram um grau de representatividade adequado, até mesmo, para a tentativa de parametrização dos parâmetros, ou seja, de que os parâmetros das equações fossem sub-funções da variável independente (volume unitário do reservatório).

As equações testadas para obtenção dos índices de nível de atendimento à demanda (NA) e extravasamento (E) em função da demanda unitária (D_u) e do volume unitário (V_u) de reservação foram as seguintes:

$$F(D_u, V_u) = \frac{(\log(V_u + 1) + a)^b}{c D_u^d} \quad F(D_u, V_u) = 1 - \frac{1}{a V_u^b + c D_u^d} \quad F(D_u, V_u) = \frac{a}{b D_u + e^{(c V_u + d)}}$$

$$F(D_u, V_u) = a D_u - D_u^b + c V_u + V_u^d \quad F(D_u, V_u) = \frac{a}{b + e^{(c D_u + d V_u)}} \quad F(D_u, V_u) = a D_u^b + c V_u^d$$

Onde os parâmetros a , b , c e d são ajustáveis para representar o comportamento dos índices de desempenho em função do volume unitário e da demanda unitária.

3.3 Efeito do Aproveitamento de Água de Chuva na Rede de Drenagem Pluvial

3.3.1 Estratégia para Quantificação do Efeito na Rede de Drenagem Pluvial

Optou-se por avaliar o efeito do aproveitamento de água de chuva na drenagem pluvial em zonas residenciais, já que é este o tipo de urbanização que frequentemente apresenta maior parcela de área ocupada nas cidades. Também, por ser o que apresenta menor índice de adoção espontânea do uso de água de chuva, isto devido ao seu tempo de retorno financeiro ser maior em relação às edificações industriais e comerciais, podendo ser a quantificação do benefício à redução de alagamentos um elemento de incentivo adicional à adoção do aproveitamento de água de chuva.

A quantificação do efeito do aproveitamento de água de chuva na rede de drenagem pluvial foi realizada por meio de simulação matemática da geração de escoamento pluvial para dois padrões de habitação residencial, padrão classe alta e popular, a fim de obter índices para uma possível redução de volumes e picos de vazão de água pluvial lançados à rede.

Preliminarmente à simulação, foram definidas premissas e cenários de simulação, que permitissem avaliar o efeito do aproveitamento de chuva na vazão da rede pluvial, porém, estes (premissas e cenários) não foram exaustivos, já que a pretensão foi de realizar a aplicação da metodologia desenvolvida, assim, que, novas premissas e critérios podem ser adotados em aplicações reais.

As premissas e cenários serão apresentadas na descrição das etapas da metodologia para a quantificação do efeito do aproveitamento de água de chuva na drenagem pluvial, sendo as referidas etapas, as seguintes:

- Extração dos valores de consumo mensal de água tratada para as amostras das duas regiões eleitas (unidades consumidoras de classe alta e popular);
- Obtenção do consumo não-potável por meio de índices de desagregação de usos;
- Dimensionamento dos reservatórios para as premissas de nível de atendimento à demanda e seus correspondentes percentuais de extravasamento;
- Geração de séries sintéticas de precipitação e demanda;
- Obtenção dos percentuais do tipo de uso do solo por classificação das áreas a partir de imagem de satélite;
- Geração dos hidrogramas de saída dos blocos de lotes padrão;
- Dimensionamento da rede pluvial para que não trabalhe com seção plena;
- Simulação hidráulica;
- Obtenção dos índices de alteração de volume e pico dos hidrogramas simulados.

Para tanto, com vistas à aplicação da metodologia foi instituído o município de Porto Alegre como sendo uma região adequada para este fim, pois apresenta problemas com alagamentos devido à urbanização, e, principalmente, por ter um manancial competente (lago Guaíba) para o atendimento à demanda da sua população. Isto faz com que os benefícios econômicos e problemas com escassez sejam fatores pouco incentivadores à adoção do aproveitamento de água de chuva, podendo ser, então, o benefício à redução dos alagamentos urbanos um bom motivador à criação de incentivos para que a população passe a aproveitar a água de chuva.

3.3.2 Demanda de Água em Porto Alegre

Estimar a demanda por água de modo a representar a realidade é fundamental para a avaliação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva quanto à sua contribuição na redução dos alagamentos urbanos. Assim, para que seja representada adequadamente em séries sintéticas a variabilidade temporal, deve-se, inicialmente, obter dados reais de consumo mensal de água por economia.

Foram amostrados dois padrões de urbanização, a primeira para população com alta renda e a segunda de baixa renda, com lotes e demandas maiores e menores respectivamente, onde é possível obter os comportamentos extremos do efeito do aproveitamento de água de chuva na rede pluvial.

Na Figura 26 são indicadas as regiões, no município de Porto Alegre, de origem das amostras para os tipos padrão de habitações.

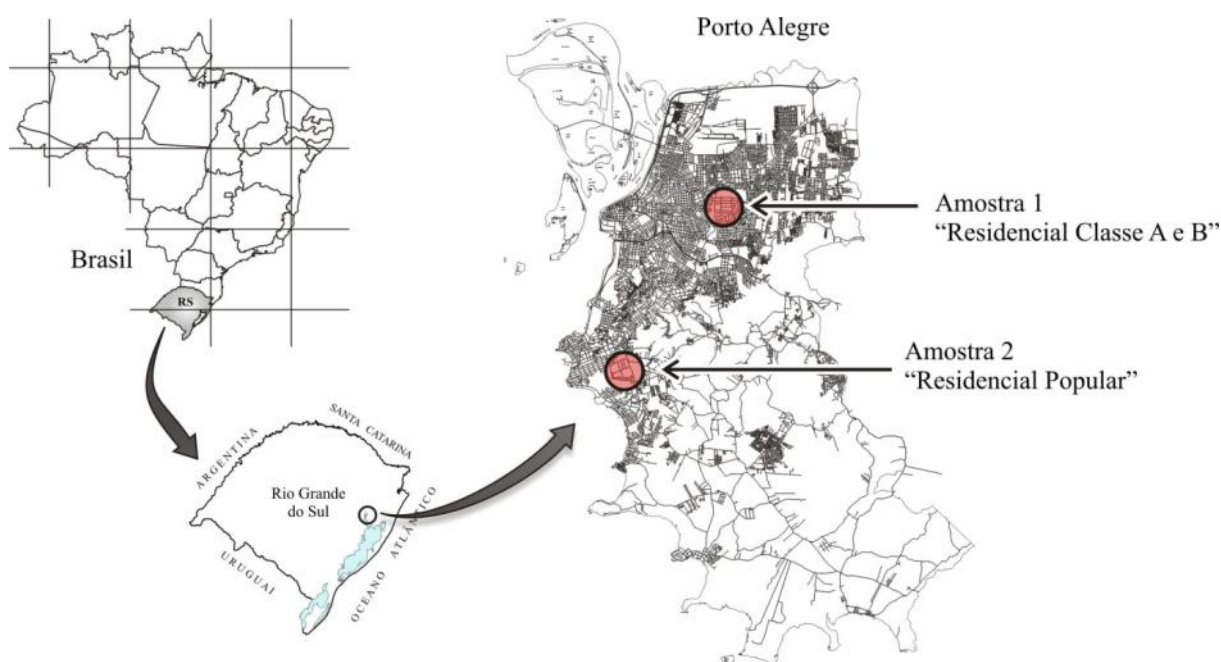


Figura 26 – Locais da amostragem do consumo de água tratada

A amostra 1 para habitações com padrão de habitação de classe alta foi composta por 30 unidades consumidoras, as quais tiveram os dados medidos para os anos 2007 e 2008 (Figura 27 e

Tabela 4). O número de habitantes residentes fixos, conforme o censo de 2010 do IBGE, na amostra 1 foi de 2,97hab/residência, e para a amostra 2 foi de 4,07hab/residência.

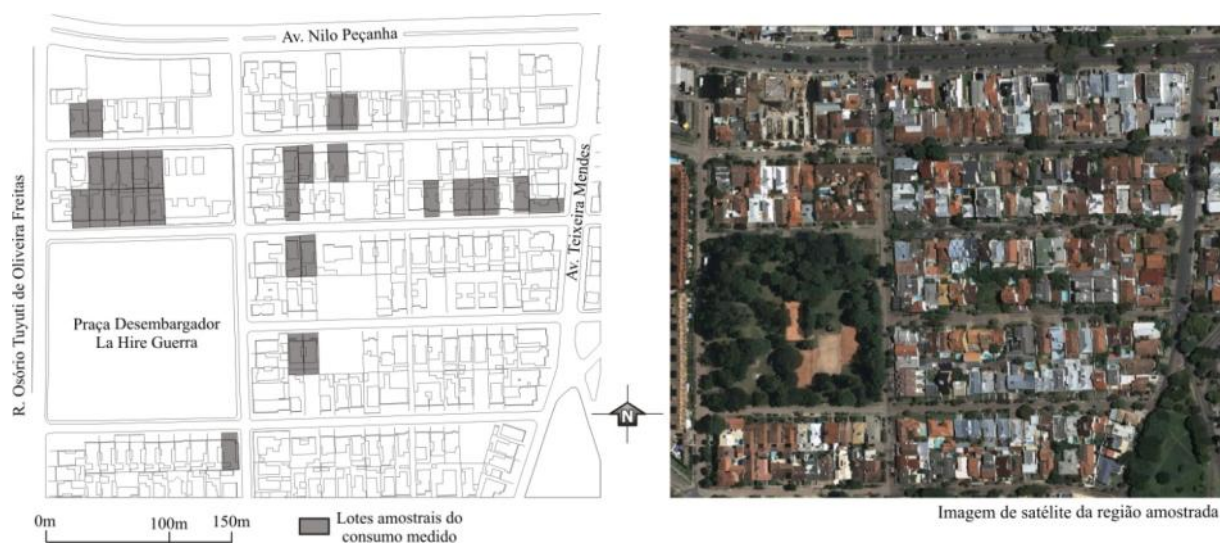


Figura 27 – Lotes amostrais e padrão de urbanização da amostra 1 (população com alta renda e lotes com 360m²)

Tabela 4 – Consumos mensais médios e desvio padrão dos 30 lotes da amostra 1

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Média (m ³)	25,1	25,9	26,6	26,6	24,7	23,5	25,3	22,2	22,7	25,8	24,3	26,9
Desvio padrão (m ³)	10,0	10,8	23,7	12,7	12,5	12,8	13,4	11,7	12,1	13,1	12,0	12,2

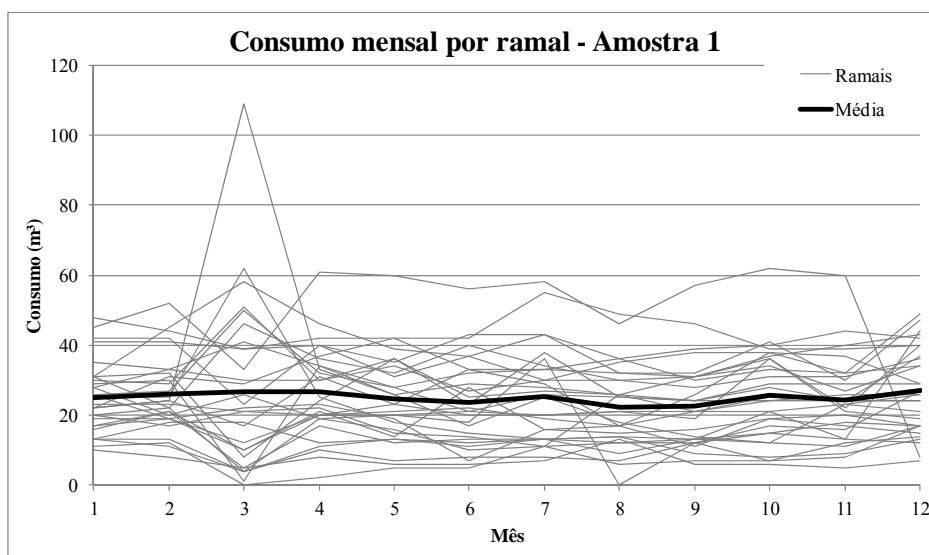


Figura 28 – Consumo mensal para amostra 1 (população classe alta e lotes com 360m²)

A partir dos dados mensais das residências amostradas com padrão classe alta, foi estimado o consumo médio diário para dimensionamento do reservatório de água de chuva, obtendo-se o valor de 821L/dia por unidade consumidora.

A amostra 2 para habitações com padrão de habitação de popular foi composta por 30 unidades consumidoras, as quais tiveram os dados medidos para os anos 2007 e 2008 (Figura 29 e Tabela 5).



Figura 29 – Lotes amostrais e padrão de urbanização da amostra 2 (população com baixa renda e lotes com 70m²)

Tabela 5 - Consumos mensais médios e desvio padrão dos 30 lotes da amostra 2

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Média (m ³)	13,3	13,8	11,6	10,4	11,5	8,3	9,5	10,7	9,9	10,6	12,5	12,3
Desvio padrão (m ³)	8,5	7,8	6,2	6,2	5,3	5,0	4,6	4,7	4,5	5,1	5,5	6,0

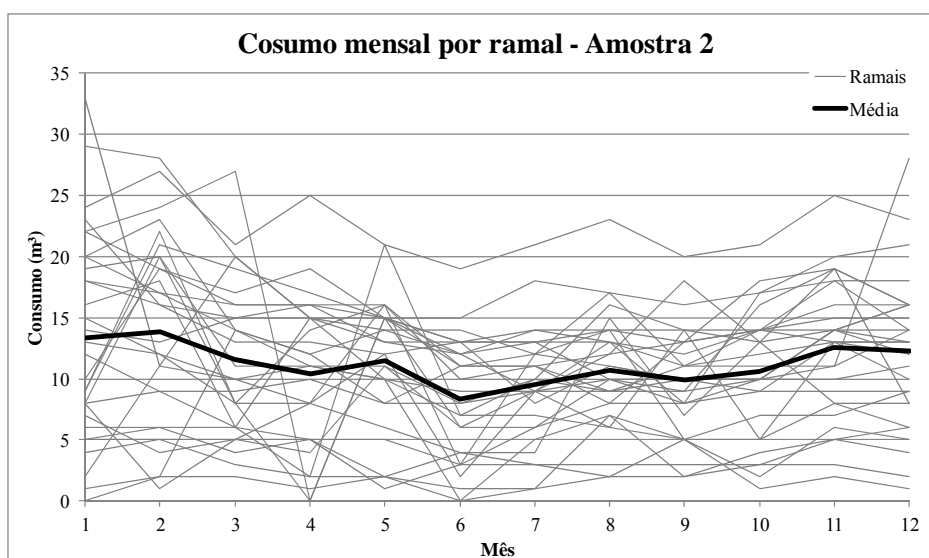


Figura 30 – Consumo mensal para amostra 2 (população com baixa renda e lotes com 70m²)

A partir dos dados mensais das residências amostradas com padrão classe alta, foi estimado o consumo médio diário para dimensionamento do reservatório de água de chuva, obtendo-se o valor de 368L/dia por unidade consumidora.

A estimativa de consumo para fins não-potáveis foi realizada pela desagregação do consumo total, sem variação sazonal, já que estudos de sazonalidade de demanda por água, raramente estudam em detalhe a desagregação do seu consumo.

A sazonalidade da desagregação de consumo não foi encontrada em nenhuma das fontes bibliográficas consultadas, no entanto, é possível inferir por observação empírica que os consumos residências que sofrem menos sazonalidade são:

- Descarga de bacias sanitárias
- Lavagem de louça e preparo de alimentos (pia da cozinha)

Da mesma forma, é possível elencar na lista dos consumos que sofrem aumento de consumo na estação quente os seguintes consumos residências:

- Lavagem de roupa (tanque e máquina de lavar roupa)
- Rega de jardim
- Higiene pessoal (chuveiro e pia do banheiro)
- Limpeza de pátio

Não seria adequado estimar uma alteração sazonal da desagregação de consumo de água com base apenas nesta observação empírica, assim, adotou-se um valor de ordem de grandeza constante para todo o ano com base em segregações apresentadas por Tomaz (2003). Supõe-se então, que desta forma, o aumento de consumo durante a estação quente se dá na mesma proporção para os consumos potáveis e não-potáveis.

Sendo os percentuais adotados para cada consumo não-potável, em relação ao consumo total, os seguintes:

- Descarga da bacia sanitária = 27%
- Lavagem de pátio = 3%
- Rega de jardim = 5%

Total do consumo não-potável= 35%

Em relação ao percentual do consumo em descargas das bacias sanitárias este valor poderia ser de 5% conforme Rocha *et al* (1998), no entanto optou-se por manter o consumo de aparelhos menos eficientes, visto que, os resultados obtidos, da influência do aproveitamento de água de chuva na redução dos alagamentos urbanos, serão representativos da adoção do uso de água de chuva em residências já estabelecidas, onde raramente possuem equipamentos econômicos quanto ao consumo de água.

Assim, os valores de demanda unitária por água não-potável, que serão utilizados no dimensionamento dos reservatórios, foram obtidos pela segregação adotada e divididas pelas áreas de

telhado típicos para as amostras de lotes padrão, o que resultou em 1,3L/dia.m² para amostra 1 (habitação classe alta) e 2,8L/dia.m² (habitação popular).

3.3.3 Séries Sintéticas de Demanda

A maneira freqüente de estimar a demanda de água em modelagens é simplista, empregando valores médios fixos, o que é válido para análises de capacidade de atendimento e viabilidade econômica para sistemas de aproveitamento de água de chuva. No entanto, quando a pretensão é avaliar a sinergia dos sistemas de aproveitamento em uma parcela de área urbana com diferentes condições de consumo, e conseqüentemente com distintos estoques de água nos reservatórios, é necessário representar a variabilidade do consumo para que cenários diferentes ao comportamento médio.

Com vistas à simulação das vazões de água na rede pluvial em regiões com lotes providos de sistemas de aproveitamento de água de chuva, faz-se necessário estimar o consumo por água não potável e representar a sua variabilidade temporal e espacial. Assim, com base em série de dados de consumo medido pelo DMAE (Departamento Municipal de Água e Esgoto), em unidades consumidoras em Porto Alegre, foram criadas séries sintéticas independentes de consumo total de água as quais foram desagregadas para a obtenção da demanda por água não-potável. A desagregação foi estimada para a unidade consumidora, estimando o número de habitantes e áreas de jardins, obtendo, assim, o percentual que o consumo por água não potável representa do consumo total.

Na Figura 31 é ilustrada a maneira de obtenção das series sintéticas. A função paramétrica da densidade de probabilidade adotada para os volumes de água consumidos foi a normal. Sendo detectada esta forma de distribuição ao aplicar o teste de Lilliefors (Lilliefors, 1997) aos dados de consumo medidos.

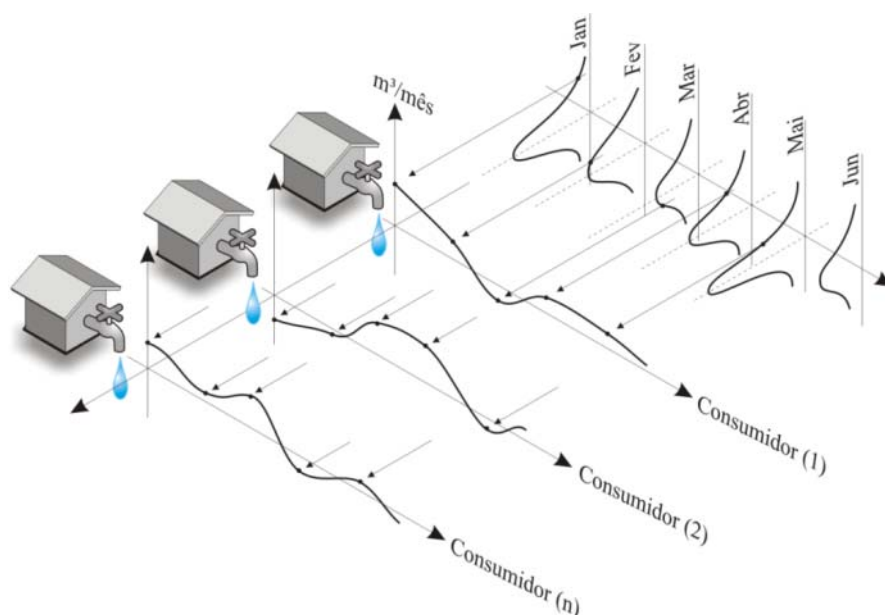


Figura 31 – Criação de séries sintéticas de consumo total de água para cada unidade consumidora

A partir de dados micro-medidos (hidrômetro de unidade consumidora) obtidos para regiões específicas do município de Porto Alegre é possível criar as séries sintéticas de demanda que representam o comportamento de consumo.

Devido às séries dos consumos medidos serem fornecidas com dados mensais, o consumo diário foi estimado por interpolação, com os valores mensais centrados em cada mês.

Na aplicação da simulação hidráulica da rede pluvial, com vistas à obtenção de índices de redução dos alagamentos urbanos, as séries sintéticas de demanda foram geradas individual e independentemente para cada unidade consumidora, e com a mesma duração das séries sintéticas de precipitação.

3.3.4 Lotes e Blocos de Lotes e Bacias Hipotéticas

A definição dos lotes padrão que constituem as áreas a serem simuladas foi realizada com base em imagens de satélite em resolução e escala suficiente para a extração das dimensões típicas das regiões amostradas (Figura 32).

Para fins de simulação os lotes foram agrupados em blocos (Figura 33), sendo estes simulados de forma concentrada, tendo suas vazões de saída ingressando nos nós da rede de drenagem pluvial para posterior propagação até o exutório da bacia hipotética.

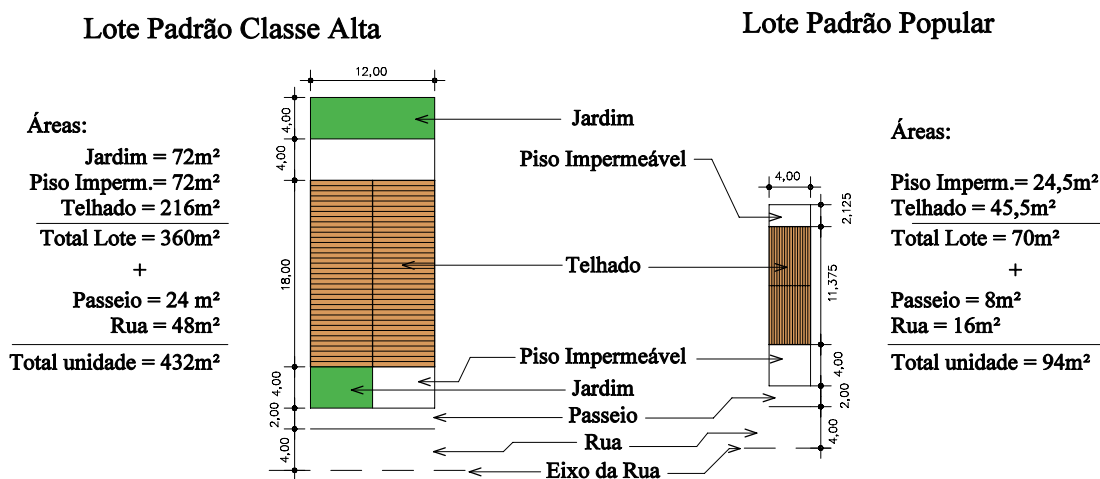


Figura 32 – Lotes padrão para classe alta e popular e a composição de áreas por tipo de cobertura

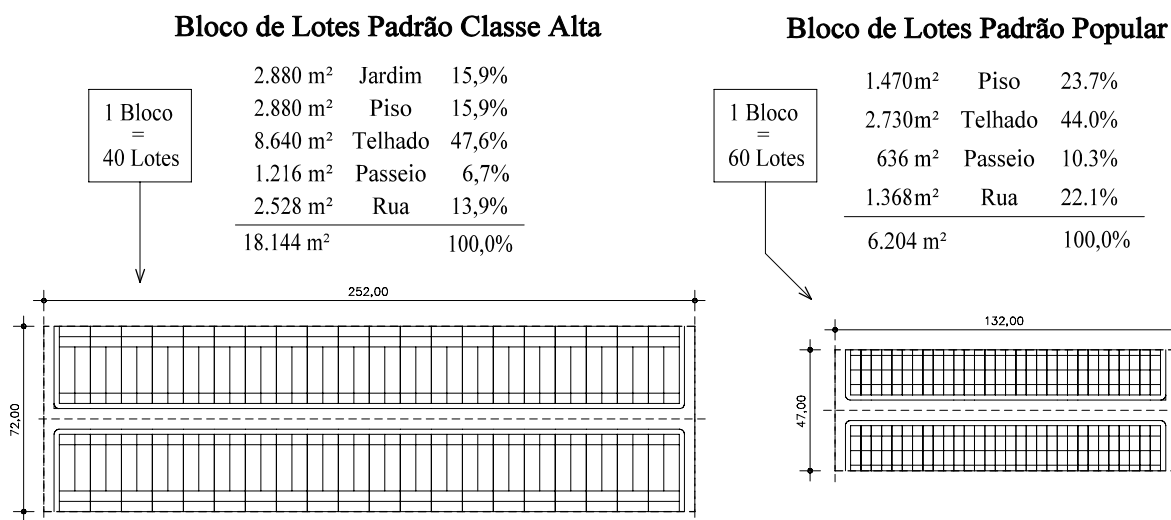


Figura 33 – Blocos de lotes padrão para classe alta e popular e a composição de áreas por tipo de cobertura

As composições dos blocos de lotes hipotéticos foram realizadas para que fossem criadas bacias com ~10 e ~25ha de área de contribuição hidrológica, áreas estas dentro da faixa de ordem de grandeza dos loteamentos que comumente são construídos no município de Porto Alegre.

Assim, foi possível verificar o efeito de escala ao simular bacias com ~10 e ~25ha comparando os hidrogramas nos seus exutórios para o cenário sem aproveitamento de água de chuva e os cenários que o consideram. O número de lotes para cada amostra e área de contribuição são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Relação de número de blocos e lotes por bacia hipotética e para cada amostra

	Área da bacia hipotética (~10ha)			Área da bacia hipotética (~250ha)		
	Nº de Blocos	Nº de lotes	Área exata	Nº de Blocos	Nº de lotes	Área exata
Amostra 1 (Classe Alta)	6	240	10,87ha	14	560	25,4ha
Amostra 2 (Popular)	16	960	9,93ha	40	2.400	24,82ha

Quanto ao formato, os blocos de lotes hipotéticos foram dispostos em “espinha de peixe” de modo a manter a forma que mais concentra no tempo as vazões propagadas na rede pluvial, ou seja, o formato circular.

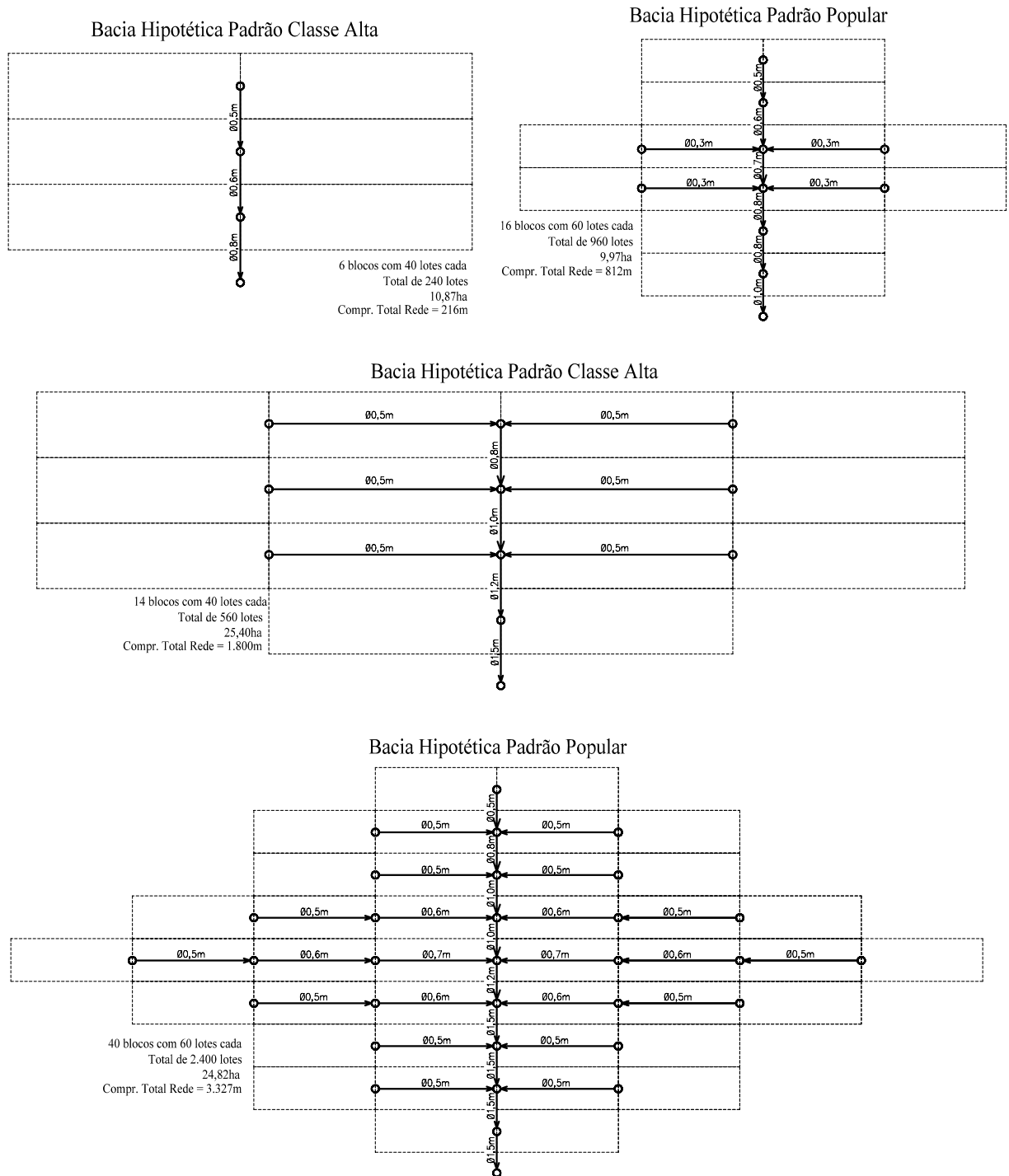


Figura 34 – Bacias hipotéticas formadas pelos blocos de lotes padrão (classe alta e popular) e para áreas de 10 e 25ha

3.3.5 Dimensionamento dos Reservatórios

O resultado da simulação hidráulica/hidrológica sofre influência direta do volume disponível livre nos reservatórios, que estes sendo dimensionados para um maior nível de atendimento terão maiores volumes e, conseqüentemente, tenderão a ter volumes livres disponíveis maiores.

O dimensionamento dos reservatórios de aproveitamento de água de chuva foi por realizado utilizando-se a ficha de dimensionamento elaborada para o município de Porto Alegre com as respectivas demandas unitárias, sendo estas, obtidas pelo consumo médio mensal e as áreas de captação, para as duas amostras de padrões de habitação (classe alta e popular).

Os níveis de atendimento adotados no dimensionamento foram para 50, 70 e 80%, que, para as características de chuva de Porto Alegre (boa regularidade de chuva ao longo do ano), são aceitáveis do ponto de vista de compromisso de garantia de atendimento e tamanho do reservatório (em regiões com maior sazonalidade, talvez, estes níveis de atendimento sejam impraticáveis). Ao adotar estes valores para o nível de atendimento, também são obtidos os valores de percentual de extravasamento respectivos, que também, poderiam ser premissas de dimensionamento do reservatório.

Na simulação, foram adotados os volumes exatos obtidos da ficha de dimensionamento, sendo que na prática, e no caso de utilização de reservatórios pré-fabricados, a recomendação é adotar o tamanho de reservatório comercializado imediatamente superior ao obtido no dimensionamento, gerando, assim, uma situação favorável quando à garantia de atendimento à demanda.

3.3.6 Curvas de Permanência do Volume de Espera

O efeito do aproveitamento de água de chuva na vazão lançada à rede de drenagem pluvial é diretamente dependente do volume disponível de retenção (volume de espera), que no caso é a diferença entre a capacidade de reservação e o quanto deste volume está ocupado por água no instante de um evento de chuva.

A simulação de balanço de massa do reservatório de aproveitamento de água de chuva fornece a série temporal do volume disponível para retenção, que, então, pode ter seus valores ordenados de modo a obter a curva de permanência do volume de espera.

Com a curva de permanência é possível extrair a probabilidade de o volume de esperar ser maior ou igual que determinado valor, dando indicação de risco de extravasamento para um determinado evento de chuva (Figura 35).

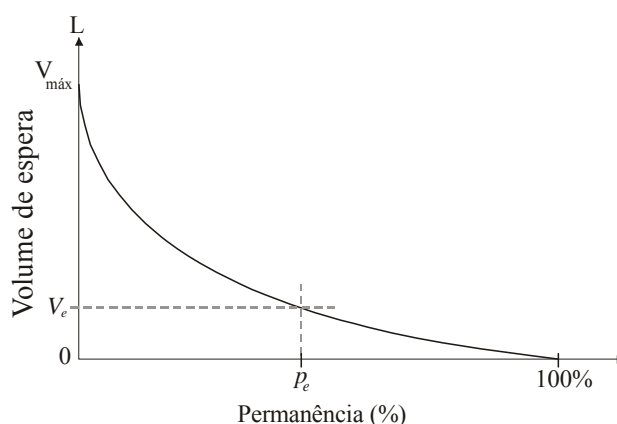


Figura 35 – curva de permanência do volume de espera do reservatório de aproveitamento de água de chuva

A curva de permanência foi obtida em cada bloco hipotético a partir da soma dos volumes de espera dos lotes do bloco, cada lote com uma série sintética independente, resultado, ainda, do valor médio da simulação para 20 séries sintéticas de precipitação com 30 anos de extensão. Conferindo, assim, a avaliação do efeito sinérgico de vários lotes realizando aproveitamento de água de chuva, e com a envoltória de variabilidade da técnica de Monte Carlo.

Da curva de permanência é extraída uma das premissas de simulação, que no caso, foram os volumes de espera correspondentes às permanências de 75 e 90%, garantindo que em apenas 25 e 10% do tempo o reservatório não terá volume livre para causar o efeito na vazão lançada à rede de drenagem pluvial.

3.3.7 Simulação Hidrológica/Hidráulica

A fim de obter resultados da influência do aproveitamento de água de chuva nas vazões da rede de drenagem pluvial foram realizadas simulações hidrológica/hidráulica para dois conjuntos de residências, uma com lotes hipotéticos com padrão de habitação classe alta e populares. Ambos os padrões de habitação foram obtidos por amostragem no município de Porto Alegre. A simulação hidrológica/hidráulica visou quantificar a influência do aproveitamento de água de chuva na vazão lançada à rede pluvial por lotes residencias.

Simular continuamente as vazões lançadas à rede pluvial seria o modo de representar mais realisticamente a influência do aproveitamento de água de chuva na vazão da rede pluvial, no entanto, devido à inexistência de uma série longa (>30 anos) com dados de precipitação em discretização temporal compatível com os tempos de concentração das bacias hipotéticas (~5min), a simulação contínua teve de ser descartada, e substituída por simulação para eventos de projeto.

Assim, a simulação foi constituída de uma primeira etapa para geração de hidrogramas com base na chuva de projeto para as saídas dos blocos de lotes padrão (hidrograma concentrado na saída do bloco de lotes), e a segunda etapa de propagação hidráulica destas vazões na rede pluvial de bacias hipotéticas.

Hidrogramas com base na chuva de projeto

Assim a simulação partirá de um hietograma de projeto discretizado a cada minuto, com base na metodologia dos blocos alternados e hidrograma unitário triangular desenvolvido pelo Soil Conservation Service – USA (SCS, 1975, *apud* Tucci, 1993). A área do hidrograma unitário triangular (Figura 36) representa a precipitação efetiva e suas relação geométricas são definidas com base no tempo de concentração da bacia de interesse, conforme as seguintes equações:

$$tp' = \frac{td}{2} + 0,6tc$$

e

$$te = 1,67 tp'$$

sendo:

tp' : tempo entre o início do escoamento superficial e o pico do hidrograma (h)

td : duração da precipitação (h)

tc : tempo de concentração da bacia (h)

te : tempo de recessão do hidrogram, entre o pico e o término do escoamento superficial (h)

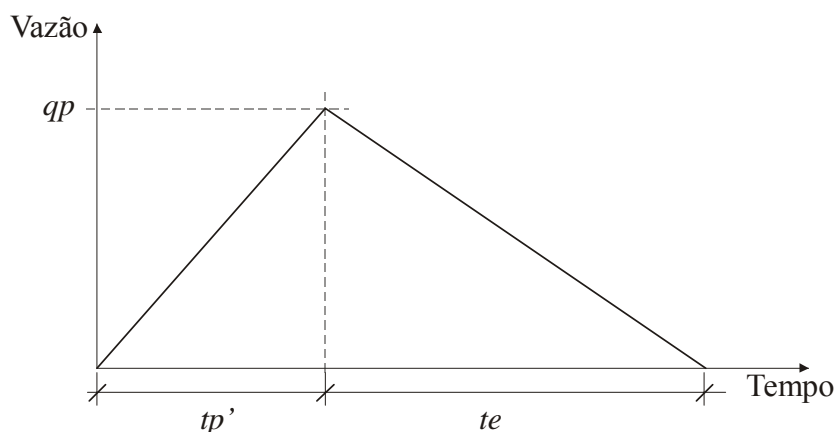


Figura 36 – Hidrograma unitário triangular do SCS

O tempo de concentração pode ser obtido por estimativas empíricas ou conceituais, conforme as informações disponíveis (Porto, 1995), sendo que a adotada neste trabalho foi a fórmula de Schaake, que é uma das recomendadas para a modelagem de micro-drenagem (Silveira, 2005):

$$tc = 0,0828 L^{0,24} I^{-0,16} A_{imp}^{-0,26}$$

sendo:

tc : tempo de concentração (h)

L : comprimento do talvegue (km)

I : declividade (m/m)

A_{imp} : fração da área impermeável da bacia

Com as proporções do hidrograma unitário triangular definido foi então obtida a precipitação efetiva pela separação de escoamento do SCS, e a vazão de pico:

$$P_{ef} = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

$$qp = \frac{2,08 A}{tc}$$

sendo:

P : precipitação (mm)

P_{ef} : precipitação efetiva (mm)

S : capacidade máxima de armazenamento de água no solo

Qp : pico de vazão (m³/s)

CN : *curve number* (coeficiente tabela que representa as características da infiltração de água no solo em função do tipo e uso do solo)

A partir das precipitações efetivas a composição do hidrograma é realizada pelo processo de convolução da chuva (Tucci, 1993).

A metodologia SCS foi adotada por ser a mesma utilizada nos Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDUr) para as bacias de Porto Alegre, elevando o poder de comparação de resultados deste trabalho com os já realizados na mesma área.

Os valores de CN, tipo de solo e condições de umidade antecedência adotadas foram os mesmos de Tassi (2002), que foram:

Solo: Grupo C

Umidade antecedente: condições normais (AMC II)

CN: Telhados, Pisos Impermeáveis, Passeio e Rua = 98, e Jardim =74

Quando à escolha da curva IDF, se optou pela do 8º Distrito de Meteorologia, por ser um posto padrão do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e por ter maior garantia da continuidade de monitoramento da precipitação, possibilitando, no futuro, uma atualização de sua equação.

$$i_{m\acute{a}x} = \frac{1.297,9 Tr^{0,171}}{(td + 11,6)^{0,85}}$$

sendo:

$i_{m\acute{a}x}$: intensidade máxima de precipitação (mm/h)

Tr : tempo de retorno (anos)

Td : duração da precipitação (min)

O hidrograma de saída de cada bloco de lotes hipotéticos foi composto pela soma das vazões das áreas que não direcionam seus fluxos para o reservatório de água de chuva (ruas, piso, jardim e passeio) e mais o hidrograma de extravasamento do reservatório.

A geração dos hidrogramas também contemplará cenários de adoção do aproveitamento da água de chuva pelos lotes, sendo gerado 2 cenários:

- Nenhum lote com aproveitamento de água de chuva (cenário base de comparação)
- Todos os lotes com aproveitamento de água de chuva (cenário de avaliação)

Para o hidrograma de extravasamento do reservatório não foi considerado nenhum amortecimento devido à propagação de vazão no reservatório, sendo este desconsiderado, ou ainda, foi considerado como uma caixa de passagem onde a água que ingressa no reservatório instantaneamente é direcionada para o extravasor que não causará nenhuma resistência ao escoamento. Esta consideração permite que seja avaliada a condição de extravasores com alta capacidade de vazão. A composição do hidrograma de saída de um bloco de lotes hipotéticos é apresentada na Figura 37.

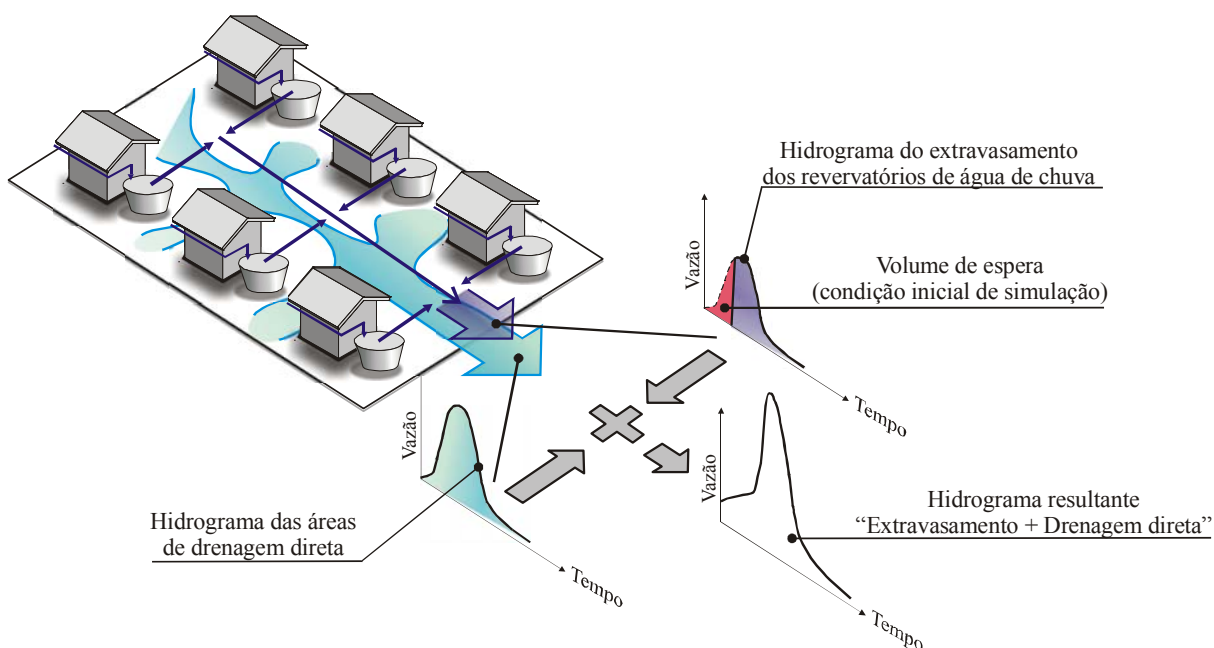


Figura 37 – Composição do hidrograma resultante de um bloco de lotes hipotéticos

Outras definições estabelecidas para a geração dos hidrogramas foram:

- Duração da chuva de projeto de 1h, compatível com tempo de concentração das bacias urbanas de Porto Alegre;
- Tempos de retornos avaliados: 2 e 5 anos (recorrências adequadas para a avaliação da microdrenagem);
- Discretização temporal de 1 minuto.

Simulação hidráulica

Os hidrogramas gerados, com base em precipitações de projeto, representam o escoamento superficial (descontadas as perdas iniciais e os fluxos infiltrados) produzido pelos blocos de lotes hipotéticos, que devem, então, serem propagados pelas tubulações das bacias hipotéticas, a fim de avaliar o efeito do aproveitamento de água de chuva sobre a vazão da rede pluvial.

A propagação foi realizada com o uso do programa computacional SWMM (*Storm Water Management Model*), que é um modelo hidrológico para simulação, por evento ou continuamente, da quantidade e a qualidade dos fluxos de água. Sua primeira versão foi lançada em 1971 tendo sido atualizado diversas vezes até o presente momento (Bossman, 2004). Esta ferramenta é largamente utilizada na realização estudos técnicos e científicos, permitindo desde a geração de hidrogramas, sua propagação hidráulica até a simulação dos processos qualitativos.

O módulo de propagação da vazão do modelo SWMM é de interesse neste trabalho. A propagação é representada com as equações completas de *Saint Venant* tendo a vazão e a cota piezométricas como variáveis, para assim poder simular efeitos de jusante, fluxos reversos a superfície livre e sob pressão (Garcia e Paiva, 2006).

A simulação teve tempo de duração de 1h, tempo este compatível com o tempo de concentração das bacias urbanas de Porto Alegre. A Tabela 7 apresenta os tempos de duração da chuva de projeto adotados na elaboração do PDDUr para as bacias urbanas de Porto Alegre para os quais os resultados deste trabalho pretendem ser representativos.

Tabela 7 – Durações da chuva de projeto adotados no PDDUr de Porto Alegre para algumas de suas bacias urbanas

Nome da Bacia	Área (km ²)	Duração da chuva de projeto (min)
Arroio Areia	20,85	120
Arroio Capivara	13,43	80
Arroio Cavallhada	24,52	60
Arroio Moinho	4,5	60
Arroio Passo das Pedras	35,3	60

A rede pluvial foi dimensionada para suportar com folga de capacidade para que não houvesse extravasamentos da rede para o arruamento nem inversões de fluxos na rede, o que poderia dificultar a interpretação dos resultados. Quanto ao coeficiente de rugosidade, foi adotado o valor central do intervalo de recomendado pelo Caderno de Encargos do DEP ($n=0,0125$) para galerias em concreto pré-moldado com bom acabamento.

A declividade adota para a rede pluvial foi de 3,5% (0,035m/m), valor mediano da faixa mais significativa das declividades do terreno da área urbana de Porto Alegre, que tem 57,5% de sua área com declividades entre 0 e 6,8% (Figura 38).

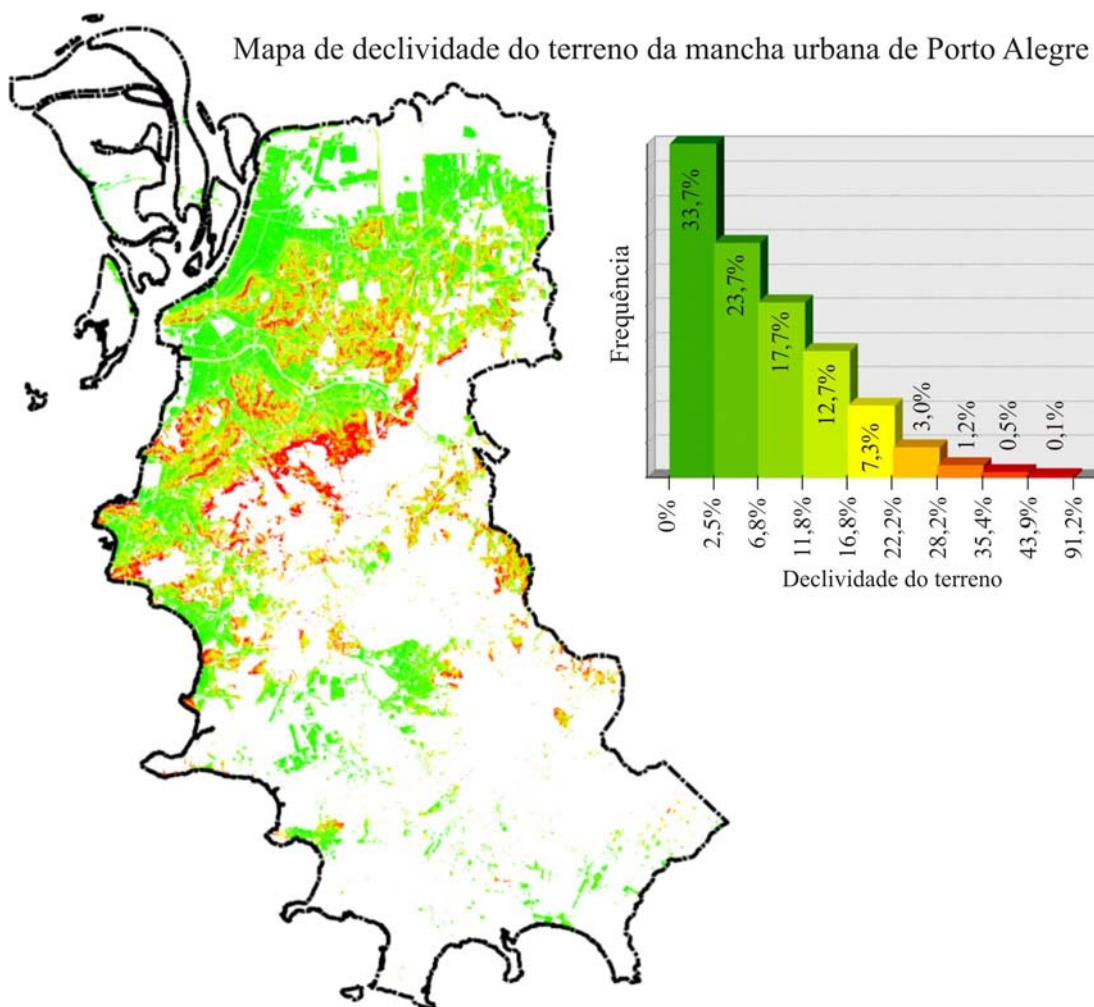


Figura 38 – Mapa de declividade da mancha urbana de Porto Alegre

Os cenários de simulação foram extraídos dos resultados da simulação de balanço de massa nos reservatórios dos loteamentos com as séries sintéticas. Dentre os resultados da simulação está a curva de permanência do volume de espera do conjunto de reservatórios de cada bloco de lotes hipotéticos, o que forneceu probabilidade de volumes de espera disponíveis para atenuação do pico de vazão na rede pluvial. Assim, foram combinados os cenários conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 – Critérios e cenários arbitrados para simulações hidrológica/hidráulica

Critério	Cenários
Hidrograma de projeto (tempo de retorno)	Tr = 2 e 5 anos
Eficiência do sistema de aproveitamento de chuva (nível de atendimento à demanda por água não-potável)	50% , 70% e 80%
Probabilidade do volume de espera nos reservatórios, superado ou igualado (permanência do volume de espera)	75% e 90%
Área da bacia hipotética	10 e 25ha

Combinando os cenários foram gerados 28 resultados com a redução do pico de vazão e do volume total escoado.

O efeito na vazão da rede pluvial obtido ao avaliar-se os resultados da simulação hidrológico-hidráulica em uma comparação dos cenários (utilização do aproveitamento de água de chuva com o de não utilização), permite mensurar as reduções para cada caso hipotético, embasando a adoção do aproveitamento de água de chuva como dispositivo de controle do escoamento pluvial, indicando, também, as características mínimas exigidas do sistema de aproveitamento para atingir o desempenho na redução dos alagamentos desejado com a técnica.

Os reservatórios de aproveitamento de água de chuva têm concepção distinta a dos micro-reservatórios de lote de controle do escoamento pluvial. Pois estes, não possuindo descarregador de fundo, não lançam água à rede pluvial até que esteja completamente cheio, onde, então, o vertedor entra em funcionamento. A capacidade de atenuação do pico de vazão na rede pluvial depende da condição inicial de volume de água no reservatório a princípio do evento de chuva. Devido a esta condição, não é garantido que para todo evento o reservatório terá o mesmo efeito de redução do pico de vazão na rede pluvial, ficando o desempenho atrelado à distribuição de probabilidade de volume disponível no reservatório, e considerando o efeito sinérgico de vários lotes possuindo sistemas de aproveitamento de água de chuva.

4 Resultados e Produtos

4.1 Ábacos para Dimensionamento do Reservatório para Aproveitamento de Água de Chuva

4.1.1 Análise de qualidade das séries sintéticas

A qualidade das séries sintéticas foi analisada por meio de inspeção visual dos gráficos apresentados nas fichas de dimensionamento (Anexo 4) para reservatório de aproveitamento de água de chuva (precipitação acumulada, frequência acumulada, médias mensais e histograma de frequência), e por índices de desempenho numéricos (coeficiente de determinação do histograma de frequência, percentuais de dias chuvosos e relação entre os acumulados totais observados e médios sintéticos).

A análise dos gráficos por inspeção visual padece de subjetividade, no entanto, é fundamental para identificar falhas na consistência dos dados. Além disso, esta análise verifica se a série observada ficou compreendida entre os limites da dispersão das séries sintéticas, conferindo ao método de geração sintética de dados a capacidade de inserir aleatoriedade, ao mesmo tempo em que mantém as características estatísticas da série observada.

Os índices numéricos de qualidade, apresentados na Tabela 9, foram obtidos com os valores médios de 20 séries sintéticas com o mesmo tamanho da série observada, e para a contagem do número de dias chuvosos foi considerada a chuva significativa (>1mm), ou seja, o dia foi chuvoso se o registro, ou o valor sintético, foi superior à 1mm. Os resultados mostram que, com a metodologia empregada, foi possível obter séries sintéticas com alto grau de semelhança estatística com as séries observadas.

Tabela 9 - Índices numéricos de qualidade das séries sintéticas

Local	Tamanho da série (anos)	R ² Histograma	Acum.(obs)/ acum.(sint)	% Dias Chuvosos		Parâmetros	
				Observada	Média das Sintéticas	A	B
Aracaju	56	0,989	0,997	36,2%	33,3%	2,20	0,50
Belém	50	0,997	0,994	57,2%	55,9%	2,10	-0,05
Belo Horizonte	32	0,989	1,002	25,6%	22,7%	2,10	0,05
Boa Vista	30	0,969	1,000	31,8%	27,8%	2,10	0,35
Brasília	32	0,979	0,988	25,6%	22,7%	2,10	0,05
Campo Grande	32	0,980	1,024	25,5%	23,2%	2,05	0,35
Cuiabá	65	0,985	1,003	25,7%	23,1%	2,05	0,20
Curitiba	113	0,996	0,993	30,5%	28,0%	2,10	0,25
Florianópolis	62	0,999	0,986	32,6%	31,1%	2,00	0,20
Fortaleza	93	0,995	0,988	28,0%	26,0%	2,10	0,25
Goiânia	50	0,995	0,995	29,9%	28,0%	2,00	0,00
João Pessoa	48	0,992	0,996	36,2%	33,6%	2,30	0,30
Macapá	41	0,997	0,996	44,5%	42,6%	1,98	-0,10
Maceió	83	0,993	0,987	30,9%	28,0%	2,25	0,30
Manaus	34	0,987	1,001	44,2%	42,3%	2,00	0,10
Natal	84	0,998	0,997	24,1%	22,6%	2,10	0,25
Palmas	30	0,977	1,006	26,4%	25,3%	2,00	0,20
Porto Alegre	38	0,985	1,000	27,4%	26,0%	1,90	0,10
Porto Velho	39	0,995	1,011	38,9%	36,1%	2,10	0,20
Recife	45	0,993	0,994	44,0%	39,4%	2,00	0,25
Rio Branco	39	0,985	1,001	35,4%	33,7%	1,90	-0,25
Rio de Janeiro	31	0,994	0,997	26,9%	24,0%	2,10	0,70
Salvador	75	0,996	1,004	45,6%	40,3%	2,25	0,50
São Luís	89	0,996	0,995	34,0%	30,4%	2,15	0,25
São Paulo	106	0,994	1,006	25,8%	23,7%	2,10	0,35
Teresina	99	0,991	0,999	20,3%	18,9%	2,20	0,15
Vitória	74	0,997	0,986	29,1%	26,7%	2,15	0,40

Os coeficientes de determinação entre os histogramas de frequência, para todos os locais de aplicação, ficou acima de ~0,98. Os acumulados totais médios das séries sintéticas também apresentaram comportamento bastante adequado, ficando o desvio da série observada em relação à média dos acumulados das séries sintéticas sempre inferior à 2%. Já o índice de percentual de dias chuvosos apresentou tendenciosidade em subestimar o número de dias chuvoso, o que foi parcialmente

atenuado pela adição dos parâmetros auxiliares A e B. A subestimação do número de dias chuvosos variou entre 5,3% e 1,1%, sendo a subestimação média para todos os locais de 2,5%. Esta tendenciosidade em subestimar o número de dias chuvosos foi apresentada no item 3.2.2.2.

Uma análise adicional realizada foi o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov para um par de séries com distribuição livre (Press *et al*, 1992). Porém, foi descartada por não ser indicada para séries que tenham algum grau de dependência entre si (a série sintética depende das estatísticas da série observada) e por apresentar um rigor crescente em aceitar a hipótese das séries terem a mesma distribuição de frequências com o uso de séries longas de dados diários (>30anos), fato este detectado ao aplicar o teste em séries menores (<10anos) geradas com a mesma metodologia usada nas séries longas, onde a hipótese de terem semelhança significativa da distribuição de probabilidades apresentou uma maior frequência de aceite que para as séries longas.

4.1.2 Fichas para Dimensionamento do Reservatório de Aproveitamento de Água de Chuva

O dimensionamento do volume de reservação é a decisão que mais influencia a avaliação da viabilidade econômica e do desempenho do sistema de aproveitamento de água de chuva quanto aos benefícios apropriados (econômico, ambiental e na redução dos alagamentos urbanos).

A fim de embasar a decisão do projetista com informações de desempenho provável do aproveitamento de água chuva – nível de atendimento à demanda e percentual de extravasamento – foi aplicada, para todas as capitais estaduais brasileiras mais o Distrito Federal, a metodologia proposta para a criação dos ábacos para dimensionamento de reservatórios de água de chuva.

Assim, para cada local de aplicação da metodologia foi criada uma ficha de consulta constituída de 3 páginas, contendo em cada página as seguintes informações:

- **Página 1** (Figura 39)

Município: nome do município correspondente às informações da ficha de dimensionamento.

Nome do posto pluviométrico: nome do posto pluviométrico no município, ou o mais próximo, na região com regime pluviométrico homogêneo em relação ao município.

Código ANA: código atribuído ao posto pela Agência Nacional de Águas (ANA). Este código apresenta em si a informação da quadricula em coordenadas geográficas que o posto está e um número ordenado para a identificação única, por exemplo: Código ANA: 03051011 – o posto está entre as latitudes 30° e 31° e entre as longitudes 51° e 52°, e este é o décimo primeiro posto cadastrado nesta quadricula.

Disponibilidade: data de início e de término da série observada, tamanho da série disponível e percentual de falhas

População: número de habitantes estimado no senso de 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

Mapa: mapa do território brasileiro com a divisão política estadual

Coordenadas e altitude: coordenadas geográficas e a altitude do posto utilizado

Qualidade das séries sintéticas: valores das médias mensais de precipitação observada e sintéticas, e gráficos comparativos das séries sintéticas com a observada (precipitação acumulada, frequência acumulada, médias mensais e histograma de frequência).



Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

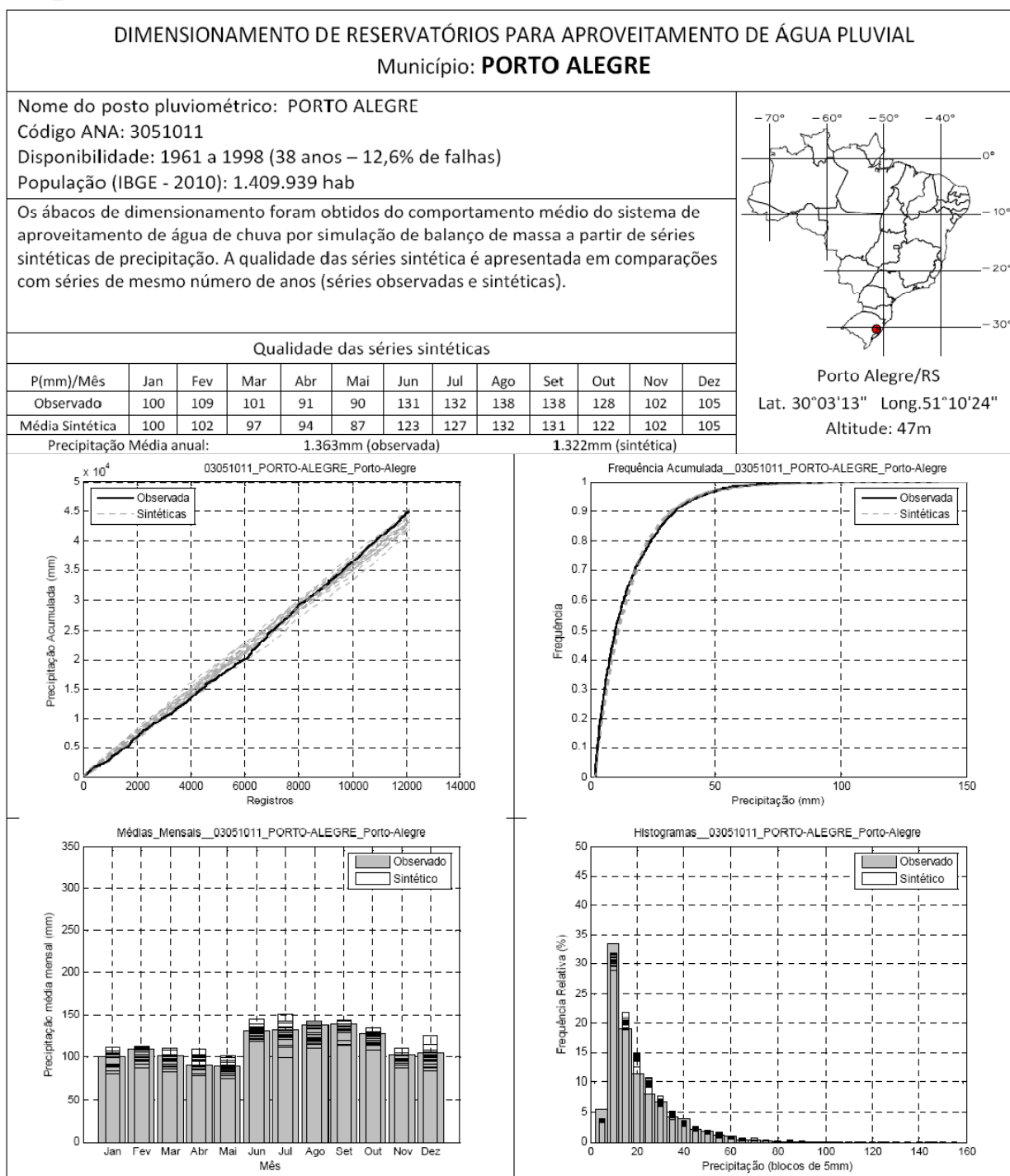


Figura 39 – Página 1 da ficha de dimensionamento para reservatório de aproveitamento de água de chuva

- **Página 2) (Figura 40)**

Ábaco de dimensionamento pelo nível de atendimento a demanda: gráficos com as curvas de nível de atendimento à demanda unitária em função da demanda unitária e do volume unitário do reservatório.

Ábaco de dimensionamento pelo percentual de extravasamento: gráficos com as curvas de extravasamento em função da demanda unitária e do volume unitário do reservatório.

Instruções e exemplo para uso dos ábacos: exemplificação de como consultar e interpretar os ábacos de dimensionamento para reservatório de aproveitamento de água de chuva.

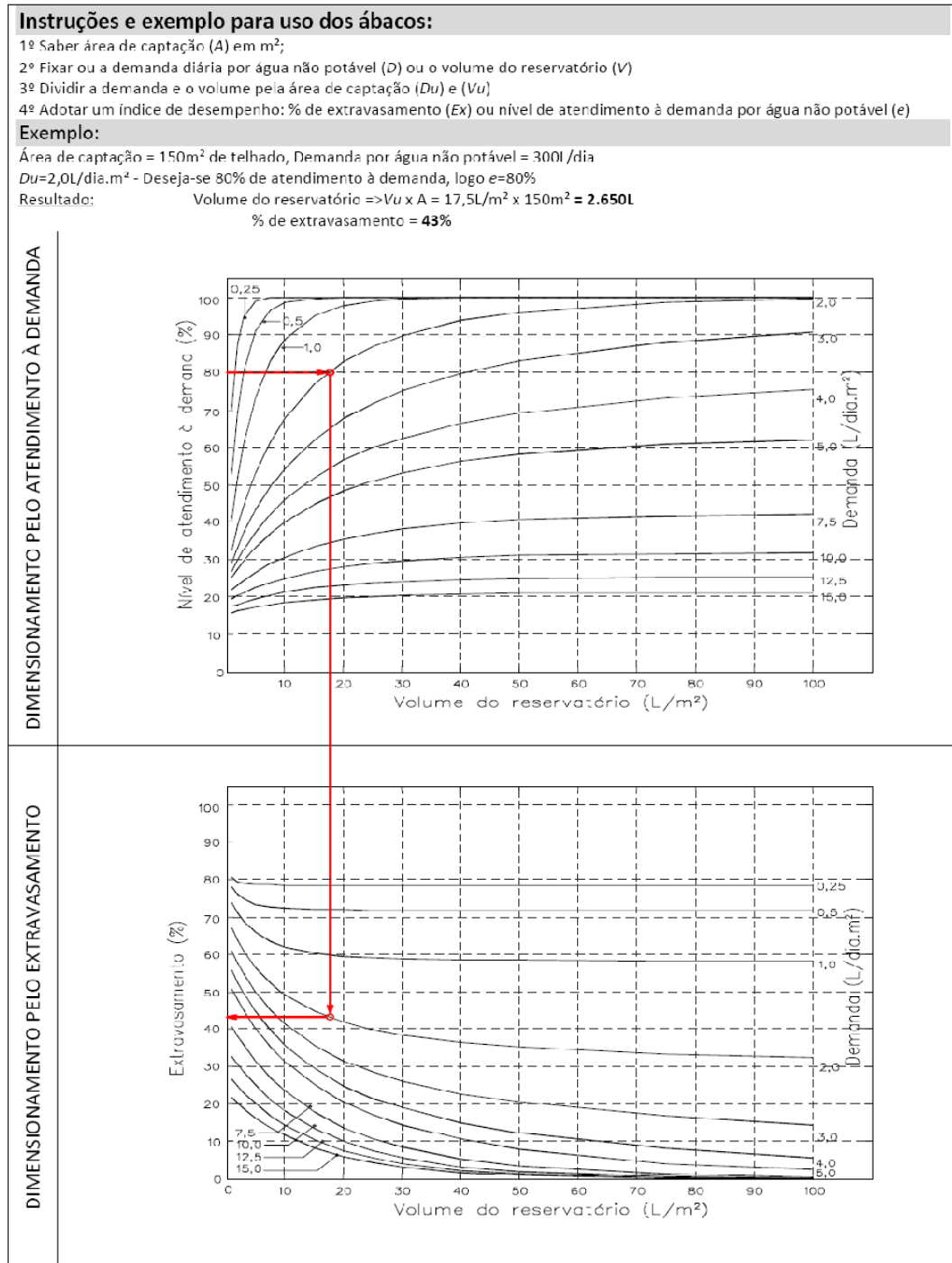


Figura 40 – Página 2 da ficha de dimensionamento para reservatório de aproveitamento de água de chuva

• **Página 3** (Figura 41)

Tabela de dimensionamento pelo nível de atendimento a demanda: tabela com os valores médios e limites do intervalo de confiança de 90% do nível de atendimento à demanda unitária em função da demanda unitária e do volume unitário do reservatório.

Tabela de dimensionamento pelo percentual de extravasamento: tabela com os valores médios e limites do intervalo de confiança de 90% do percentual de extravasamento em função da demanda unitária e do volume unitário do reservatório.

Erros médios relativos: comparação entre os desvios médios dos índices obtidos pela a série observada e pelas séries sintéticas, e se estão dentro do intervalo de confiança de 90%.

Instruções e exemplo para uso das tabelas:																								
1º Saber área de captação (A) em m ² ;																								
2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)																								
3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)																								
4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)																								
Obs. Nas tabelas os limites (superior e inferior) são referentes ao intervalo de confiança para 90% de significância.																								
Exemplo:																								
Área de captação = 150m ² de telhado, Demanda por água não potável = 300L/dia																								
Du=2,0L/dia.m ² - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo e=80%																								
Resultado: Volume do reservatório -> interpolando entre 76,9% (15L/m ²) e 82,8% (20L/m ²) Vu -17,6L/m ²																								
Vu x A = 17,6L/m ² x 150m ² = 2.650L																								
% de extravasamento => interpolando entre 44,0% (15L/m ²) e 40,8% (20L/m ²) => 42,3%																								
DIMENSIONAMENTO																								
ATENDIMENTO À DEMANDA										EXTRAVASAMENTO														
Demanda em (L/dia.m ²)										Demanda em (L/dia.m ²)														
0,25 0,5 1 2 3 4 5 7,5 10 12,5 15										0,25 0,5 1 2 3 4 5 7,5 10 12,5 15														
Volume do reservatório (L/m ²)	1	68,5	51,5	39,5	31,5	28,3	26,1	24,4	21,3	18,9	17,0	15,4	80,5	78,0	74,1	67,4	61,2	55,6	50,5	39,9	31,5	25,0	19,8	Limite (inf.)
		70,1	53,0	40,8	32,5	29,1	26,9	25,2	21,9	19,5	17,5	15,9	80,7	78,3	74,4	67,9	61,9	56,4	51,5	41,1	32,9	26,4	21,2	Média (%)
		71,8	54,5	42,0	33,5	30,0	27,7	25,9	22,5	20,0	18,0	16,4	80,9	78,5	74,8	68,4	62,6	57,3	52,5	42,4	34,3	27,8	22,6	Limite (sup.)
	2	86,1	67,9	50,6	38,0	32,3	29,0	26,6	22,6	19,7	17,6	15,8	79,3	75,7	70,9	63,7	57,7	52,2	47,4	37,2	29,3	23,1	18,3	
		87,5	69,6	52,0	39,1	33,3	29,9	27,4	23,2	20,3	18,1	16,3	79,5	76,0	71,4	64,3	58,5	53,2	48,5	38,5	30,7	24,5	19,7	
		89,0	71,3	53,5	40,3	34,3	30,8	28,2	23,9	20,9	18,6	16,8	79,7	76,4	71,9	65,0	59,3	54,2	49,5	39,8	32,1	26,0	21,1	
	3	93,6	78,4	59,2	43,0	36,1	31,7	28,7	23,7	20,5	18,0	16,1	78,8	74,3	68,5	60,8	54,4	49,2	44,5	34,7	27,2	21,4	16,9	
		94,6	80,0	60,8	44,3	37,2	32,7	29,5	24,4	21,1	18,6	16,6	79,0	74,6	69,0	61,5	55,4	50,2	45,6	36,1	28,6	22,8	18,3	
		95,7	81,7	62,5	45,6	38,3	33,6	30,4	25,1	21,7	19,1	17,1	79,3	75,0	69,6	62,3	56,3	51,3	46,8	37,4	30,1	24,3	19,6	
	5	98,5	89,7	71,4	51,7	42,1	36,3	32,3	25,8	21,8	18,9	16,7	78,5	72,7	65,0	55,8	49,3	43,9	39,3	30,3	23,5	18,3	14,4	
		98,9	91,1	73,3	53,2	43,3	37,4	33,3	26,6	22,5	19,5	17,2	78,7	73,1	65,7	56,8	50,4	45,2	40,6	31,7	24,9	19,8	15,7	
		99,4	92,5	75,1	54,7	44,5	38,4	34,2	27,3	23,1	20,1	17,8	79,0	73,6	66,4	57,7	51,5	46,4	41,9	33,1	26,4	21,2	17,1	
	7,5	99,6	95,8	81,1	59,9	48,2	41,0	35,9	28,0	23,2	19,8	17,3	78,4	71,9	62,3	51,2	44,1	38,6	34,2	25,6	19,6	15,2	11,8	
		99,8	96,6	82,9	61,6	49,6	42,2	37,0	28,9	23,9	20,5	17,9	78,7	72,4	63,1	52,2	45,3	40,0	35,6	27,1	21,1	16,5	13,1	
		100,0	97,5	84,7	63,3	51,0	43,4	38,0	29,7	24,6	21,1	18,5	79,0	72,9	63,9	53,3	46,6	41,3	37,0	28,6	22,5	17,9	14,4	
10	99,8	98,1	87,2	66,1	53,1	44,8	39,0	29,8	24,3	20,6	17,8	78,4	71,6	60,6	47,6	39,9	34,3	29,8	21,9	16,4	12,6	9,7		
	99,9	98,7	88,9	68,0	54,6	46,1	40,1	30,7	25,1	21,2	18,4	78,7	72,1	61,4	48,8	41,3	35,8	31,3	23,4	17,8	13,9	11,0		
	100,0	99,2	90,7	69,8	56,1	47,4	41,3	31,6	25,8	21,9	19,0	78,9	72,6	62,3	50,0	42,6	37,2	32,9	24,9	19,3	15,3	12,3		
15	99,9	99,5	93,8	75,0	60,7	50,7	43,7	32,6	26,0	21,7	18,6	78,4	71,4	58,8	42,6	33,5	27,6	23,3	16,1	11,7	8,7	6,6		
	100	99,8	95,1	76,9	62,3	52,1	44,9	33,6	26,9	22,4	19,2	78,6	71,9	59,8	44,0	35,1	29,2	24,9	17,6	13,0	10,0	7,7		
	100	100	96,3	78,7	63,9	53,6	46,2	34,6	27,7	23,2	19,9	78,9	72,5	60,7	45,4	36,6	30,8	26,5	19,1	14,4	11,2	8,9		
20	99,9	99,8	96,9	81,0	66,1	55,1	47,1	34,5	27,2	22,4	19,1	78,3	71,3	58,0	39,3	29,0	22,7	18,5	12,0	8,4	6,1	4,5		
	100	99,9	97,8	82,8	67,7	56,6	48,5	35,6	28,1	23,2	19,8	78,6	71,9	59,0	40,8	30,7	24,4	20,1	13,5	9,6	7,2	5,5		
	100	100	98,7	84,6	69,3	58,1	49,8	36,7	29,1	24,1	20,5	78,9	72,5	60,0	42,3	32,4	26,1	21,8	15,0	10,9	8,3	6,5		
25	99,9	99,8	98,4	85,2	70,3	58,4	49,7	35,9	28,0	22,9	19,4	78,3	71,3	57,7	37,0	25,6	19,0	14,9	9,1	6,1	4,2	3,1		
	100	99,9	99,0	86,9	71,8	60,0	51,1	37,1	29,0	23,8	20,2	78,6	71,9	58,7	38,6	27,3	20,8	16,6	10,4	7,2	5,2	3,9		
	100	100	99,5	88,6	73,4	61,5	52,6	38,3	30,1	24,7	20,9	78,9	72,5	59,7	40,1	29,1	22,6	18,2	11,8	8,3	6,2	4,8		
30	99,9	99,9	99,1	88,2	73,5	61,0	51,7	37,0	28,6	23,3	19,6	78,3	71,3	57,5	35,4	22,9	16,1	12,1	6,9	4,4	3,0	2,1		
	100	100	99,5	89,8	75,1	62,6	53,2	38,3	29,7	24,2	20,4	78,6	71,9	58,5	37,0	24,7	17,9	13,7	8,1	5,4	3,8	2,9		
	100	100	99,9	91,4	76,7	64,2	54,8	39,5	30,8	25,2	21,2	78,9	72,4	59,6	38,6	26,6	19,8	15,4	9,4	6,4	4,7	3,7		
40	99,9	99,9	99,7	92,1	78,1	64,8	54,5	38,4	29,4	23,8	19,9	78,3	71,3	57,3	33,2	19,1	11,9	8,1	4,0	2,2	1,4	0,9		
	100	100	99,9	93,7	79,7	66,5	56,2	39,8	30,6	24,7	20,8	78,6	71,9	58,4	34,9	21,0	13,7	9,7	5,1	3,1	2,1	1,6		
	100	100	100	95,2	81,3	68,2	57,9	41,2	31,7	25,7	21,6	78,9	72,4	59,5	36,6	22,9	15,5	11,3	6,2	4,0	2,9	2,2		
50	99,9	99,9	99,8	94,6	81,3	67,4	56,4	39,2	29,8	24,0	20,1	78,3	71,3	57,3	31,9	16,4	9,1	5,6	2,3	1,1	0,6	0,3		
	100	100	99,9	96,0	82,9	69,2	58,2	40,7	31,0	25,0	20,9	78,6	71,8	58,4	33,6	18,4	10,9	7,1	3,2	1,9	1,2	0,9		
	100	100	100	97,4	84,6	71,0	60,0	42,2	32,3	26,0	21,8	78,8	72,4	59,5	35,4	20,3	12,6	8,6	4,2	2,6	1,8	1,4		
75	99,9	99,9	99,8	97,9	86,3	71,1	58,8	40,0	30,2	24,2	20,2	78,2	71,2	57,2	30,2	12,3	5,1	2,3	0,5	0,1	0,0	0,0		
	100	100	99,9	98,7	87,9	73,1	60,9	41,7	31,5	25,3	21,1	78,5	71,8	58,3	32,1	14,3	6,6	3,4	1,1	0,6	0,4	0,3		
	100	100	100	99,4	89,5	75,2	63,0	43,4	32,8	26,3	22,0	78,8	72,3	59,4	34,1	16,3	8,1	4,5	1,7	1,0	0,7	0,6		
100	99,9	99,9	99,8	99,1	89,2	73,0	59,8	40,3	30,3	24,3	20,2	78,1	71,1	57,1	29,5	9,8	3,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0		
	100	100	99,9	99,5	90,8	75,3	62,1	42,1	31,7	25,3	21,1	78,4	71,7	58,3	31,6	12,0	4,3	1,8	0,4	0,2	0,1	0,1		
	100	100	100	99,9	92,3	77,6	64,4	43,9	33,0	26,4	22,0	78,7	72,3	59,4	33,7	14,1	5,5	2,5	0,8	0,5	0,3	0,3		
Erros médios relativos em relação à simulação com a série observada																								
Nível de Atendimento à Demanda: 1,7% (dentro do intervalo de confiança)																								
Percentual de Extravasamento: 9,5% (dentro do intervalo de confiança)																								

Figura 41 - Página 3 da ficha de dimensionamento para reservatório de aproveitamento de água de chuva

As 27 fichas, correspondentes a todas as capitais estaduais mais o Distrito Federal, são apresentadas no Anexo 4

4.1.3 Instruções para Dimensionamento do Reservatório de Água de Chuva

As fichas de dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva podem ser utilizadas tanto para obter o volume necessário para atender um índice de desempenho desejado, quanto para obter o desempenho para um determinado volume de reservação. As possibilidades entre dados conhecidos, critério de dimensionamento e dado desconhecido (resultado) geram 4 tipos de casos, aqui descritos:

Caso 1

Conhecidos: área de captação (m^2) e demanda diária (L/dia)

Critério: nível de atendimento à demanda (NA) ou percentual de extravasamento (E), ou seja, qual o percentual de tempo desejado em que a demanda será atendida pela água de chuva, ou qual o percentual de extravasamento aceitável.

Resultado: volume do reservatório para aproveitamento de água de chuva (L)

- 1) Obter a demanda unitária (L/dia. m^2) dividindo-se a demanda diária (L/dia) pela área de captação (m^2).
- 2) Buscar no ábaco ou na tabela o volume unitário (L/ m^2) referente ao critério de projeto estabelecido.
- 3) Obter o volume total do reservatório (L) multiplicando-se o volume unitário (L/ m^2) pela área de captação (m^2).

Caso 2

Conhecidos: área de captação (m^2) e volume total do reservatório (L)

Critério: nível de atendimento à demanda (NA) ou percentual de extravasamento (E), ou seja, qual o percentual de tempo desejado em que a demanda será atendida pela água de chuva, ou qual o percentual de extravasamento aceitável.

Resultado: demanda diária atendida (L/dia)

- 1) Obter o volume de reservação unitário (L/ m^2) dividindo-se o volume total da demanda diária (L/dia) pela área de captação (m^2).
- 2) Buscar no ábaco ou na tabela o volume unitário (L/ m^2) referente ao critério de projeto estabelecido.
- 3) Obter o volume total do reservatório (L) multiplicando-se o volume unitário (L/ m^2) pela área de captação (m^2).

Caso 3

Conhecidos: demanda diária atendida (L/dia) e volume total do reservatório (L)

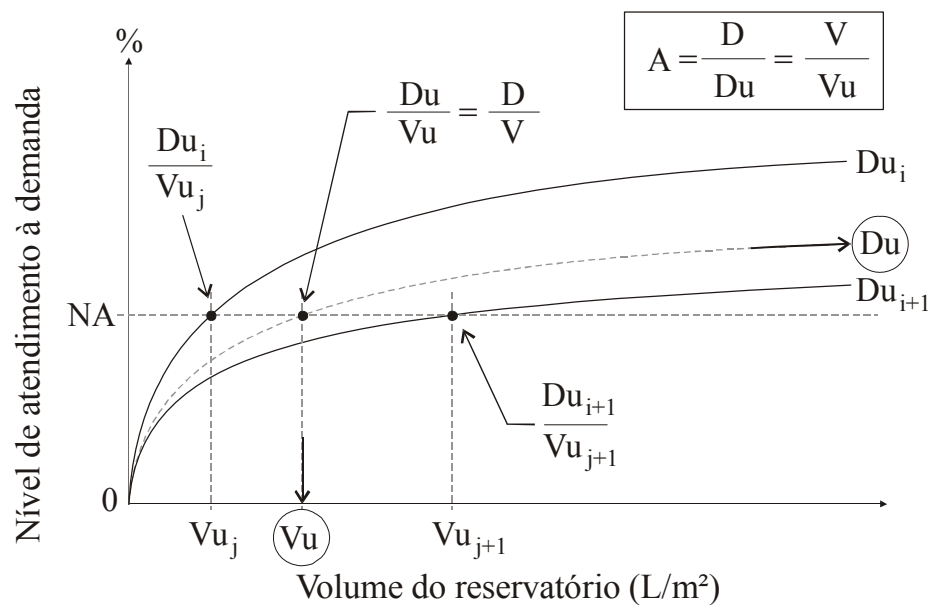
Critério: Critério: nível de atendimento à demanda (NA) ou percentual de extravasamento (E), ou seja, qual o percentual de tempo desejado em que a demanda será atendida pela água de chuva, ou qual o percentual de extravasamento aceitável.

Resultado: área de captação (m²)

1) Obter a relação entre a demanda diária (L/dia) e o volume total do reservatório (L) dividindo-se o primeiro pelo segundo (dia⁻¹).

2) Buscar no ábaco ou na tabela o ponto interpolado referente ao critério de projeto estabelecido (NA ou E) o volume unitário (L/m²) e/ou a demanda unitária (L/dia.m²).

3) Obter a da área de captação necessária (m²) dividindo-se a demanda diária pela demanda diária unitária, ou ainda, o volume total (L) pelo volume unitário (L/m²).



Caso 4

Conhecidos: demanda diária (L/dia), área de captação de chuva (m²) e volume total do reservatório (L)

Resultado: nível de atendimento à demanda (NA) ou percentual de extravasamento (E), ou seja, qual o percentual de tempo desejado o qual a demanda será atendida pela água de chuva ou qual o percentual de extravasamento aceitável.

1) Obter o volume de reservação unitário (L/m²) e a demanda unitária (L/dia.m²) dividindo-se o volume total (L) e demanda diária (L/dia) pela área de captação (m²).

2) Buscar no ábaco ou na tabela o cruzamento entre demanda unitária (L/dia.m²) e o volume unitário (L/m²) e obter o nível de atendimento a demanda (NA) e/ou o percentual de extravasamento(E)..

4.2 Efeito do Aproveitamento de Água de Chuva na Drenagem Pluvial

4.2.1 Dimensionamento dos Reservatórios de Aproveitamento de Água de Chuva

O estabelecimento do método de dimensionamento com critério de índices de desempenho, proposto por este trabalho, foi utilizado para obter o volume dos reservatórios de aproveitamento de água de chuva a serem simulados nos lotes hipotéticos.

O caso de dimensionamento utilizado foi o “Caso 1”, onde são conhecidas as demandas diárias e a área de captação, e mais as premissas de níveis de atendimento à demanda. Os resultados dos dimensionamentos pela tabela da ficha para Porto Alegre foram obtidos por meio de duas interpolações lineares, já que as demandas unitárias (1,3 e 2,8L/dia.m²) não estão contempladas com uma coluna exclusiva. Após a obtenção dos valores de nível de atendimento, que foram interpolados para a demanda unitária, foi realizada a segunda interpolação para, então, obter-se o volume unitário e os percentuais de extravasamento, estes estão apresentados na Tabela 10. A coluna com os resultados do dimensionamento do reservatório é dada em volume por metro quadrado de área de telhado e volume total (este último em negrito).

Tabela 10 – Resultados do dimensionamento dos reservatórios pelas tabelas para as premissas estabelecidas

Amostra	Área de telhado (m ²)	Consumo médio diário por lote (L/dia)	Demanda diária não-potável por lote (L/dia)	Demanda diária não-potável unitária (L/dia.m ²)	Nível de atendimento à demanda (NA)					
					50%		70%		80%	
					Volume (L)	Extrav. (%)	Volume (L)	Extrav. (%)	Volume (L/m ²)	Extrav. (%)
Classe Alta	216,0	821	287	1,3	2,25/m ²	68,7	5,73/m ²	62,1	8,93/m ²	58,6
					485		1.238		1.928	
Popular	45,5	368	129	2,8	6,75/m ²	48,2	19,36/m ²	33,2	34,44/m ²	28,5
					307		881		1.567	

O mesmo dimensionamento é apresentado na Figura 43 pelo método gráfico (ábacos), traçando-se as curvas para as demandas unitárias (1,3 e 2,8L/m²) e obtendo pela interceptação das curvas inferiores o percentual de extravasamento.

A partir do resultado de dimensionamento é possível observar o paradoxo de o lote padrão de habitação classe alta ter reservatórios maiores (em valores absolutos), porém apresentar maiores percentuais de extravasamento. A explicação para isso recai sobre as demandas unitárias, onde o lote classe alta apresenta consumo menor de água por área de telhado que o lote popular, que, apesar de fornecerem o mesmo nível de atendimento, tem permanências de volumes de água no reservatório distintas.

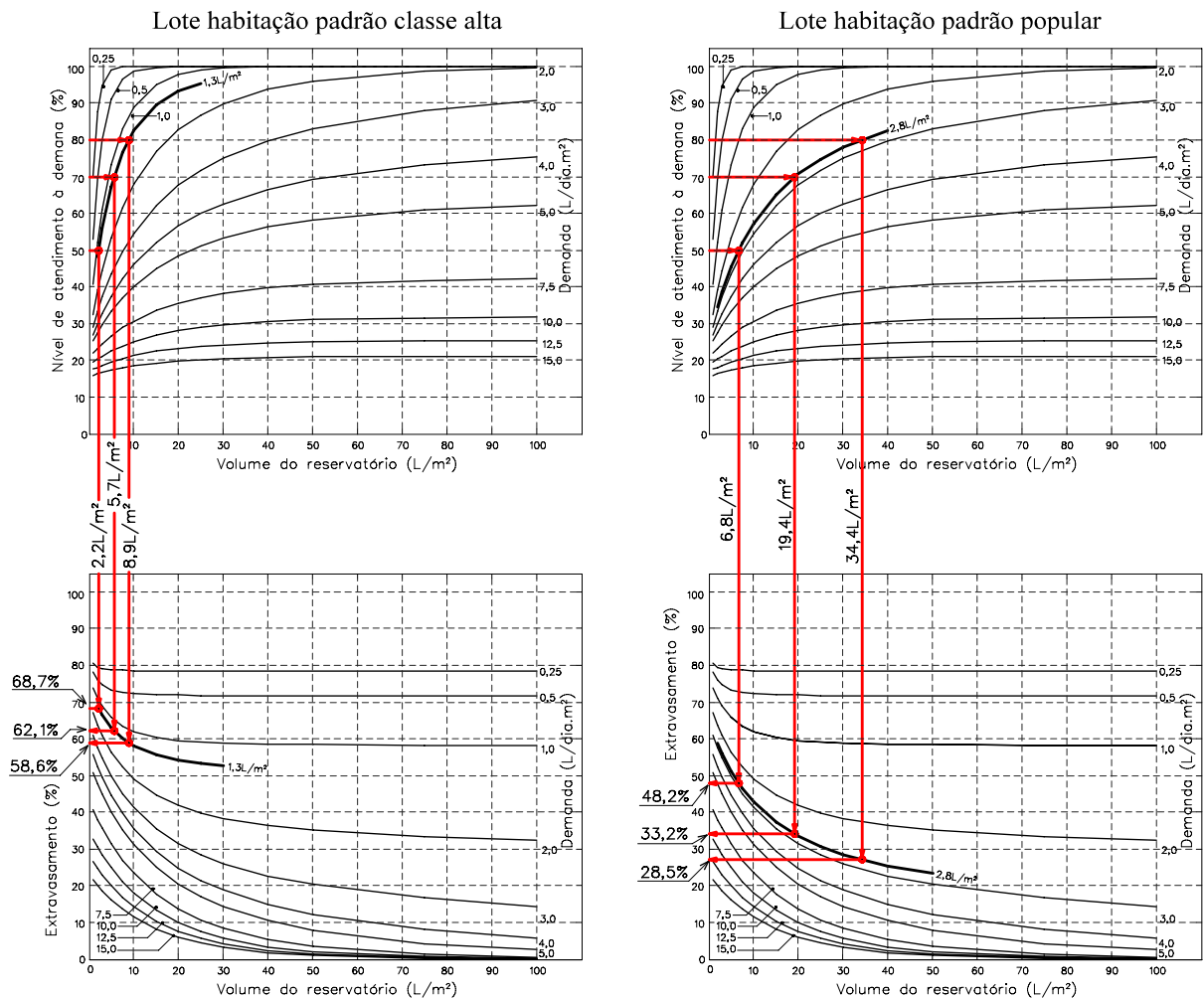


Figura 43 – Resultados do dimensionamento dos reservatórios pelos ábacos para as premissas estabelecidas

Os volumes dos reservatórios, dimensionados pela metodologia baseada em índices de desempenho, ficaram dentro de faixas de valores factíveis quanto às dimensões para construção (entre 300 e 2.000L), sendo também, estes compatíveis com as capacidades de reservatórios pré-fabricados comercializados tradicionalmente.

4.2.2 Volumes de Espera

A capacidade de reservação de água de chuva, definida no dimensionamento, foi utilizada para obter a permanência dos volumes de espera por meio da simulação de balanço de massa.

A simulação foi realizada para cada lote que compõe um bloco, tendo a simulação as seguintes características:

- reservatório vazio no tempo zero;
- foram usadas 20 séries de precipitação sintética com 30 anos de extensão cada;

- cada lote teve uma série independente de demanda diária,
- o volume de espera obtido é referente à soma dos volumes de cada lote do bloco

A Figura 44 apresenta as curvas de permanência do volume de espera para o bloco com habitações padrão classe alta. O primeiro gráfico é referente ao dimensionamento dos reservatórios com nível de atendimento à demanda por água não-potável de 50% (NA=50%), o segundo para 70% (NA=70%) e o último para 80% (NA=80%).

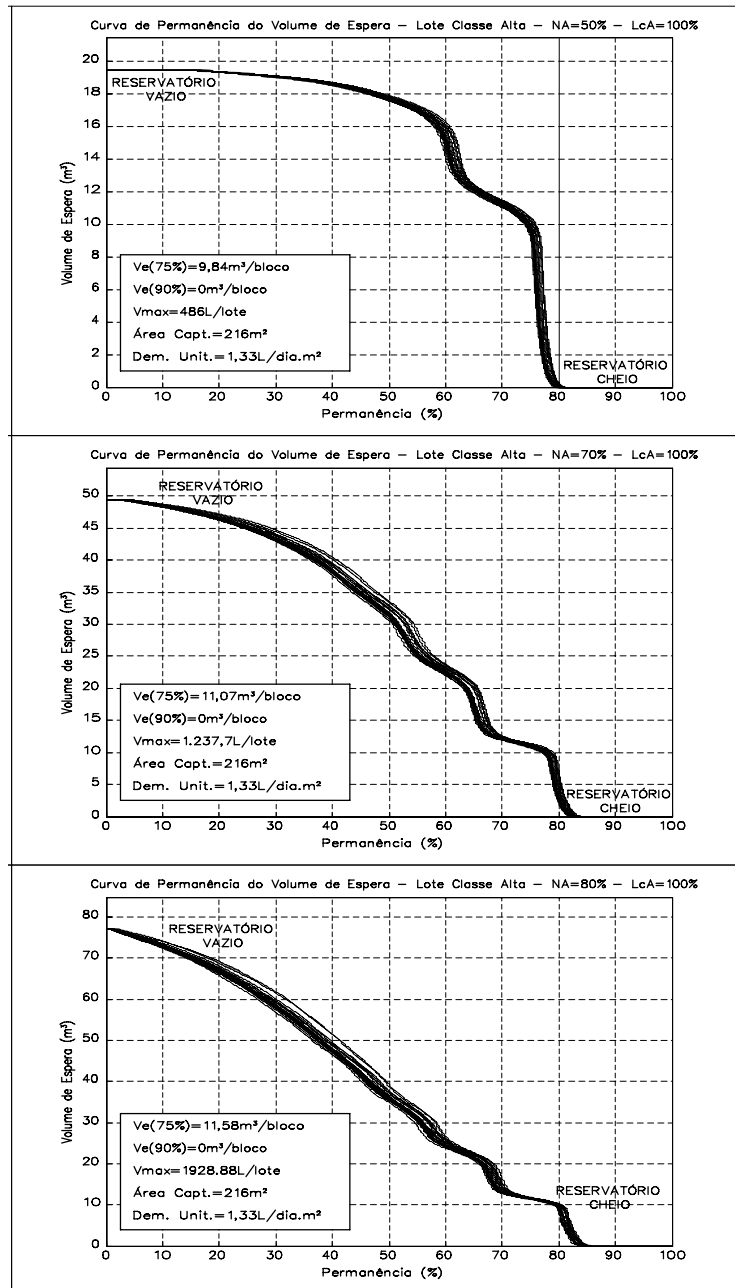


Figura 44 – Curvas de permanência para bloco de lotes padrão classe alta

A Figura 45 apresenta as curvas de permanência do volume de espera para o bloco com habitações padrão popular. O primeiro gráfico é referente ao dimensionamento dos reservatórios com nível de atendimento à demanda por água não-potável de 50% (NA=50%), o segundo para 70% (NA=70%) e o último para 80% (NA=80%).

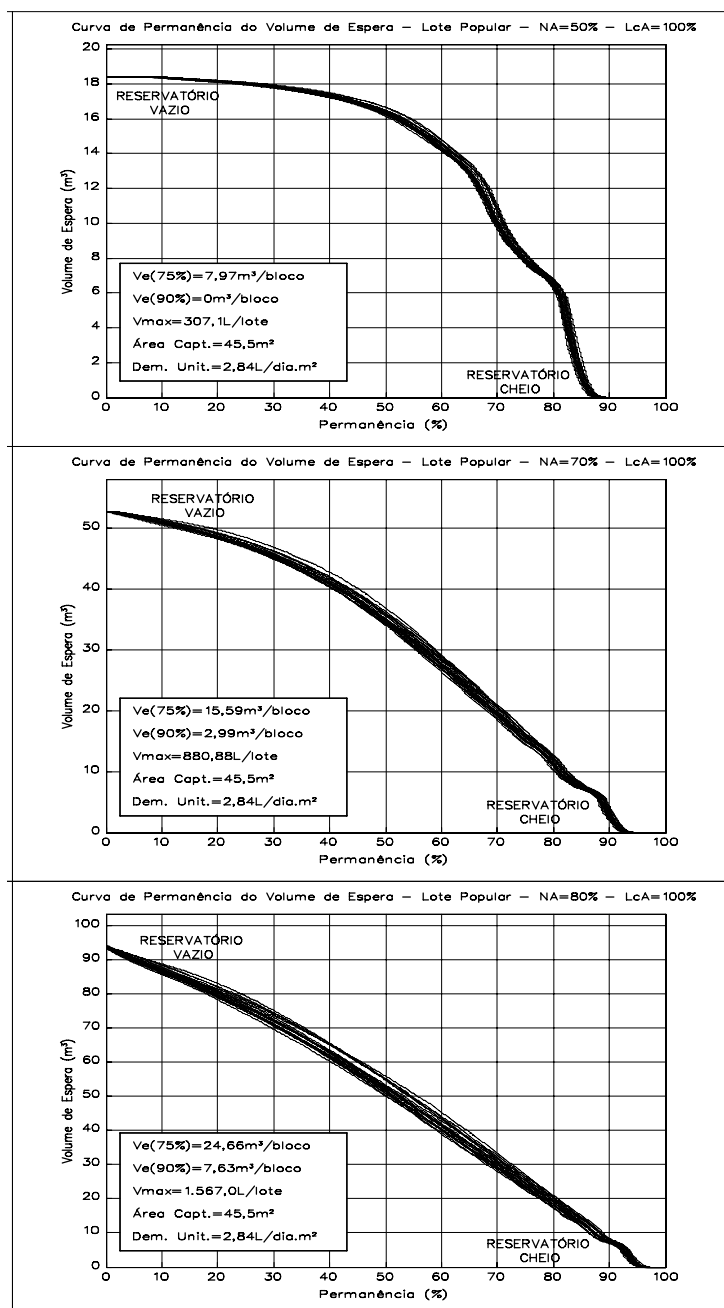


Figura 45 – Curvas de permanência para bloco de lotes padrão popular

Os valores dos volumes de espera para as permanências 75 e 90% foram as avaliadas na simulação hidráulica. Nota-se que para a permanência de 90% não houve garantia de volume de espera para os 3 níveis de atendimento à demanda no caso dos blocos de lotes padrão classe alta, e para o caso do bloco de lotes padrão popular não houve garantia para a mesma permanência quando o reservatório foi dimensionado para atender 50% da demanda.

Os degraus observados para as altas permanências (>60%) são causados pelas retiradas quantizadas do consumo de um dia para os episódios de extravasamento do reservatório, elevando a frequência de determinados volumes. Caso a simulação tivesse utilizado valores fixos de consumo, estes patamares seriam perfeitamente horizontais, o que não foram, já que utilizou-se séries sintéticas de demanda proferindo variabilidade aos valores diários.

O efeito do dimensionamento para maiores níveis de atendimento, consequentemente indicando reservatórios com maior capacidade, causou uma linearização da curva de permanência do volume de água no reservatório, sendo pouco sensível para as permanências próximas da condição de reservatório cheio (permanências altas), ou seja, dimensionar para níveis de atendimento à demanda maiores que 80% não causará significativos aumentos do volume de espera.

Assim, os volumes de espera, que serão utilizados como condição inicial para a propagação de vazões na rede pluvial, são apresentados na Tabela 11, para seus respectivos cenários e premissas.

Tabela 11 – Volumes de espera por bloco de lotes para os distintos cenários e premissas

	Nível de atend. à demanda (NA)	Volume de espera por bloco (m³) para as permanências		Volume de espera por área do bloco (L/m²) para as permanências		Capacidade do reservatório em cada lote (L)
		75%	90%	75%	90%	
		Bloco Classe Alta	50%	9,84	0	
	70%	11,07	0	0,601	0	1.237,7
	80%	11,58	0	0,638	0	1.928,9
Bloco Popular	50%	7,97	0	1,285	0	307,1
	70%	15,59	2,99	2,513	0,481	880,9
	80%	24,66	7,63	3,975	1,230	1.567,0

Os volumes de espera, expressos em termos de lâmina de chuva retida para cada cenário de simulação, estão apresentados na Tabela 12. As lâminas são apresentadas em relação às áreas de telhado e para o bloco inteiro, onde o bloco padrão classe alta tem 47,6% de suas superfícies com telhado e o popular 44,0%.

Tabela 12 – Volumes de espera em termo de lâmina de chuva para os distintos cenários e premissas

	Nível de atend. à demanda (NA)	Lâmina de chuva retida relativa aos telhados (mm)		Lâmina de chuva retida relativa a todo bloco (mm)	
		75%	90%	75%	90%
		Bloco Classe Alta	50%	1,1	-
	70%	1,3	-	0,6	-
	80%	1,3	-	0,6	-
Bloco Popular	50%	2,9	-	1,3	-
	70%	5,7	1,1	2,5	0,5
	80%	9,0	2,8	4,0	1,2

As permanências dos volumes de espera foram obtidas para o período completo das séries sintéticas, porém, para o local de aplicação metodológica (Porto Alegre) foi possível considerar que o risco de ocorrência de dias chuvosos é bastante uniforme ao longo do ano, ficando o risco de ocorrência do evento de chuva também distribuído uniformemente. Quanto à sazonalidade da média

da precipitação do dia chuvoso esta também apresenta pequena sazonalidade, sendo ~12mm na estação quente e ~15mm na estação fria, com uma maior dispersão para o mês de junho. A Figura 46 mostra a média e o desvio padrão do dia chuvoso, calculados por janela móvel de 31 dias, e na Tabela 13 são apresentados os percentuais de dias chuvosos por mês.

Tabela 13 – Percentuais mensais de dias chuvosos

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
27,1%	27,6%	25,5%	24,1%	23,6%	27,1%	29,3%	29,9%	31,3%	30,1%	25,5%	26,5%



Figura 46 – Média e desvio padrão por janela móvel de 31 dias da precipitação do dia chuvoso

A detecção da uniformidade estatística pode não ser válida para as intensidades de precipitação, visto que, em Porto Alegre, o processo de formação de chuvas preponderante na estação quente é o convectivo (eventos curtos com grande intensidade), enquanto na estação fria preponderam as chuvas frontais (eventos mais prolongados com intensidades médias a baixas). Porém, como o reservatório de água de chuva é um acumulador estanque (sem saídas durante seu enchimento) a duração e intensidade da precipitação não interferem na capacidade de retenção proporcionada pelo volume de espera, não havendo assim um período nítido de ocorrência de precipitações diárias com maiores volumes acumulados.

Ainda, quanto aos resultados dos volumes de espera obtidos, é possível realizar uma comparação destes volumes com os exigidos pelo Decreto Nº 15.371/2006 do município de Porto Alegre, que determina o volume necessário do reservatório de detenção que controle o escoamento gerado retornando-o para valores de pré-urbanização (20,8L/s.ha) pela equação abaixo:

$$V_D = 425 \cdot A_{imp}$$

sendo:

V_D : volume do reservatório de detenção (m³/ha)

A_{imp} : fração da área impermeável

Os volumes de retenção obtidos pelo Decreto N° 15.371/2006, para os blocos de lotes hipotéticos com padrão de habitação classe alta e para o padrão popular, são 357,4m³/ha (648,5m³/bloco, 16,21m³/lotte ou 35,7L/m²) e 425,0m³/ha (263,67m³/bloco, 4,39m³/lotte ou 42,5L/m²), respectivamente. Nota-se que estes valores não são atendidos pelos volumes de espera para as permanências de 75 e 90% (Tabela 11) para nenhum dos cenários simulados, e mesmo que os volumes fossem atendidos não é possível proferir comparações diretas, entre volumes de reservatórios de retenção e volumes de espera de reservatórios para aproveitamento de água de chuvas, haja vista que a propagação de vazões neles ocorre de forma distinta, sofrendo amortecimento da vazão no primeiro caso e uma retenção de uma parcela do volume no segundo.

4.2.3 Hidrogramas de Projeto

A simulação hidráulica que objetiva a quantificação do efeito do aproveitamento de água de chuva na vazão da rede pluvial foi realizada para hidrogramas de projeto com 1h de duração conforme a metodologia do HUT-SCS e utilizando a curva IDF do 8° Distrito de Meteorologia de Porto Alegre para os tempos de retorno de 2 e 5 anos, Figura 47e Figura 48.

Os totais acumulados das precipitações de projeto estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Laminas totais e efetivas dos hidrogramas de projeto

Período de retorno	Precipitação total	Prec. efetiva: Popular	Prec. efetiva: classe alta
Tr = 2 anos	38,7mm	33,1mm	24,7mm
Tr = 5 anos	45,3mm	39,6mm	30,8mm

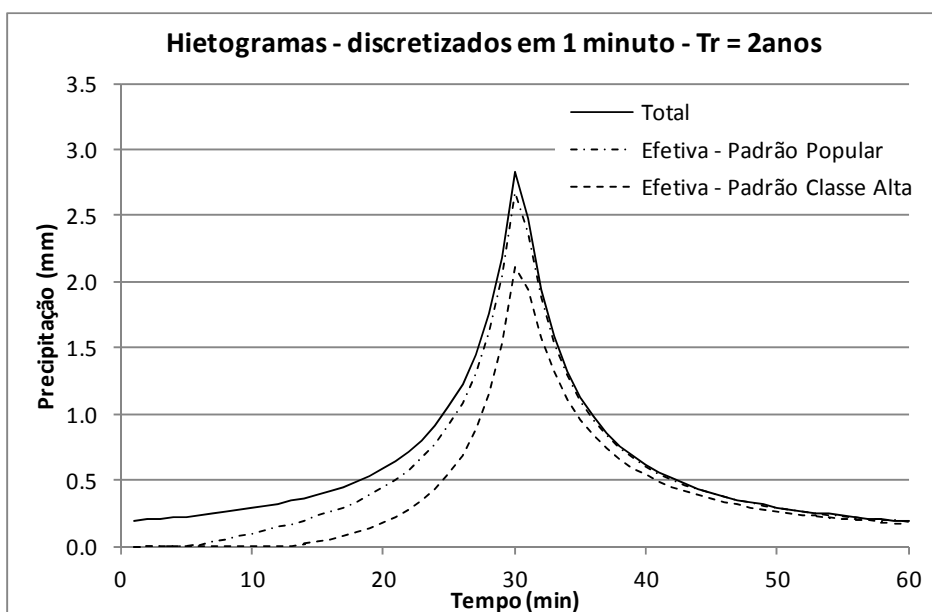


Figura 47 – Hidrograma para Tr=2 anos: precipitação total e efetiva

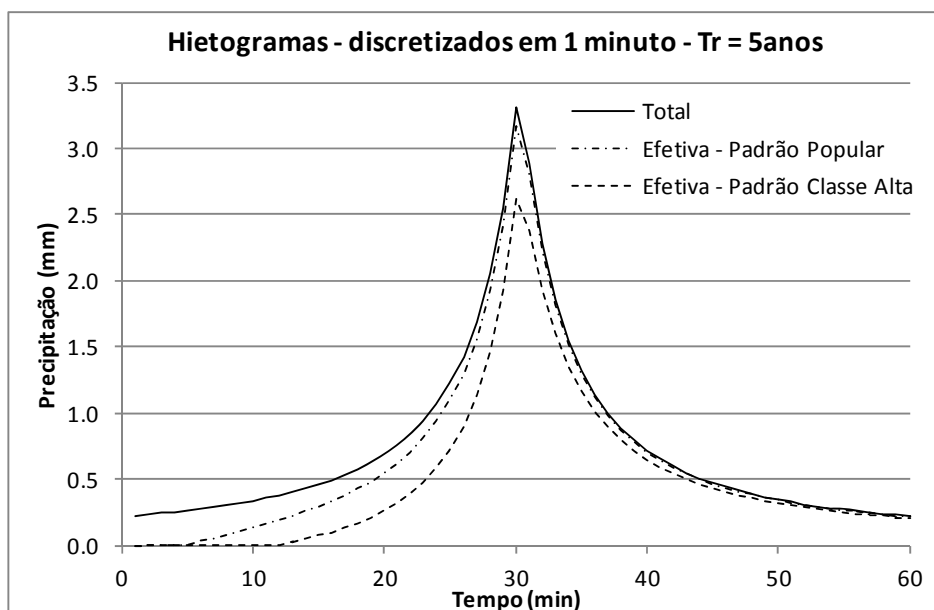


Figura 48 – Hietograma para Tr=5 anos: precipitação total e efetiva

Os hidrogramas foram gerados de modo concentrado para cada bloco dos padrões de habitação (classe alta e popular), para então, serem propagados hidráulicamente na rede pluvial.

Os tempos de concentração dos blocos de lotes hipotéticos foram obtidos pela fórmula de Schaake, sendo que para cada bloco foram gerados 2 hidrogramas, um para as áreas de captação de água de chuva (telhados), e outro hidrograma para as áreas que drenam diretamente para o exutório do bloco de lotes.

Assim, a Tabela 15 apresenta os tempos de concentração e os parâmetros adotados como entrada da fórmula de tempo de concentração, para as respectivas áreas de contribuição e o valor do CN, sendo adequada a discretização da chuva a cada 1min, atendendo, assim, as recomendações de Genovez (2001).

Tabela 15 – Tempos de concentração e parâmetros adotados

	L (km) “Comprimento da rede”	A_{imp} (%) “Parcela da área impermeável”	I (m/m) “Declividade da rede”	CN “Curva número”	T_c (min) “Tempo de concentração”
Bloco de lotes classe alta	0,270	84,9	0,035	94,2	6,5
Bloco de lotes popular	0,150	100	0,035	98	5,4

Os hidrogramas de saída dos blocos padrão de habitação, para a condição sem aproveitamento de água de chuva nos lotes e chuva de projeto com 1h de duração, são apresentados na Figura 49 e Figura 50, para os blocos padrão de habitação classe alta e popular, respectivamente.

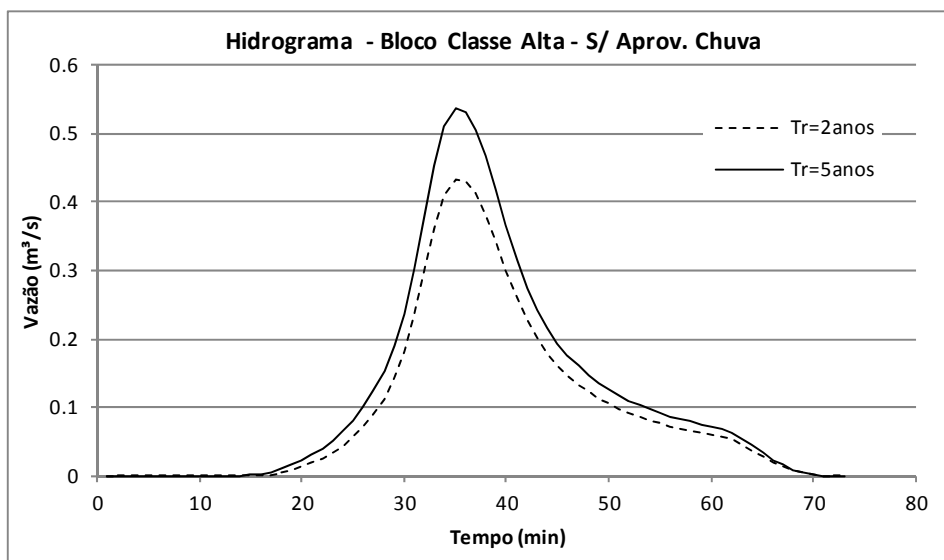


Figura 49 - Hidrograma de saída concentrada do bloco padrão classe alta sem aproveitamento de água de chuva

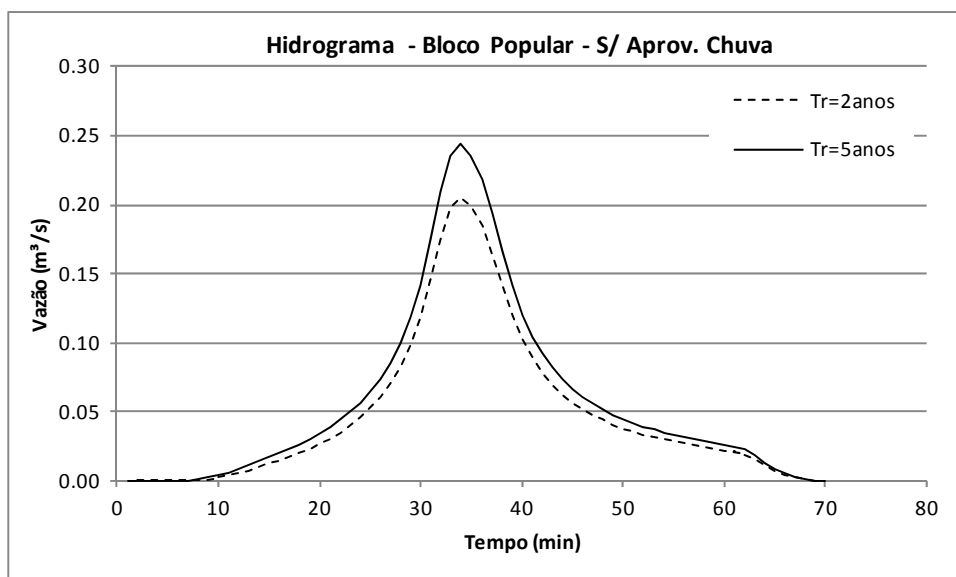


Figura 50 - Hidrograma de saída concentrada do bloco padrão popular sem aproveitamento de água de chuva

A condição inicial da simulação hidráulica, ou seja, o estado dos reservatórios de aproveitamento de água de chuva foi definido pelos riscos de ocorrência obtidos das curvas de permanência do volume de espera para o bloco de lotes, obtidos pela simulação do reservatório de lotes hipotéticos para as séries sintéticas de precipitação e demanda.

Os hidrogramas de lançamento à rede pluvial das águas coletadas pelos telhados foram gerados descontando os volumes de espera referentes às permanências de 75 e 90%, e para o dimensionamento dos reservatórios com 50, 70 e 80% de nível de atendimento à demanda, estas combinações foram apresentadas na Tabela 11. Não houve a geração dos hidrogramas para os blocos de padrão de habitação classe alta com permanência de 90% e para os blocos padrão popular com o dimensionamento para 50% de atendimento à demanda, já que, a simulação para estes cenários não foi

possível devido aos volumes de espera resultantes terem sido nulos, ou seja, nenhum volume é retido pelos reservatórios de água de chuva, já que, estes estarão cheios para a permanência referida. Na Figura 51 e na Figura 52 são apresentados os hidrogramas concentrados de saída do bloco padrão de habitação classe alta, para os tempos de retorno de 2 e 5 anos, respectivamente, segregados para as áreas de drenagem direta (ruas, pátios, pisos impermeáveis e jardim) e para as áreas de telhado que direcionam suas águas para os reservatórios de água de chuva que realizam o desconto referente ao volume de espera com permanência de 75%, sendo a soma do hidrograma em linha preta com cada um dos hidrogramas em linha colorida (verde, laranja e vermelho) o total de saída do bloco.

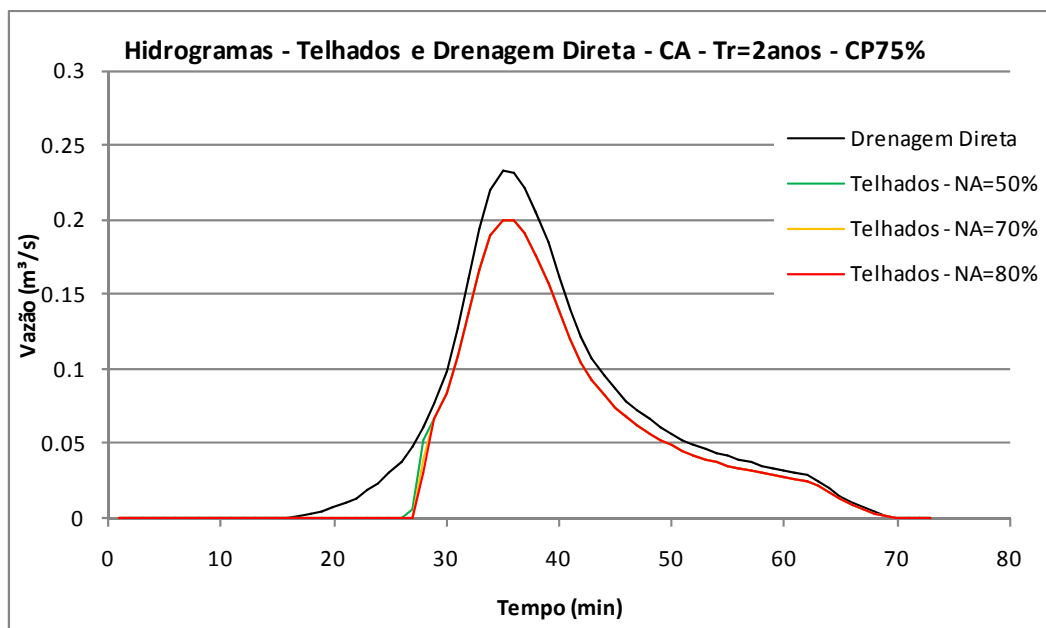


Figura 51 – Hidrogramas concentrados para bloco padrão classe alta para Tr=2anos e permanência de 75%

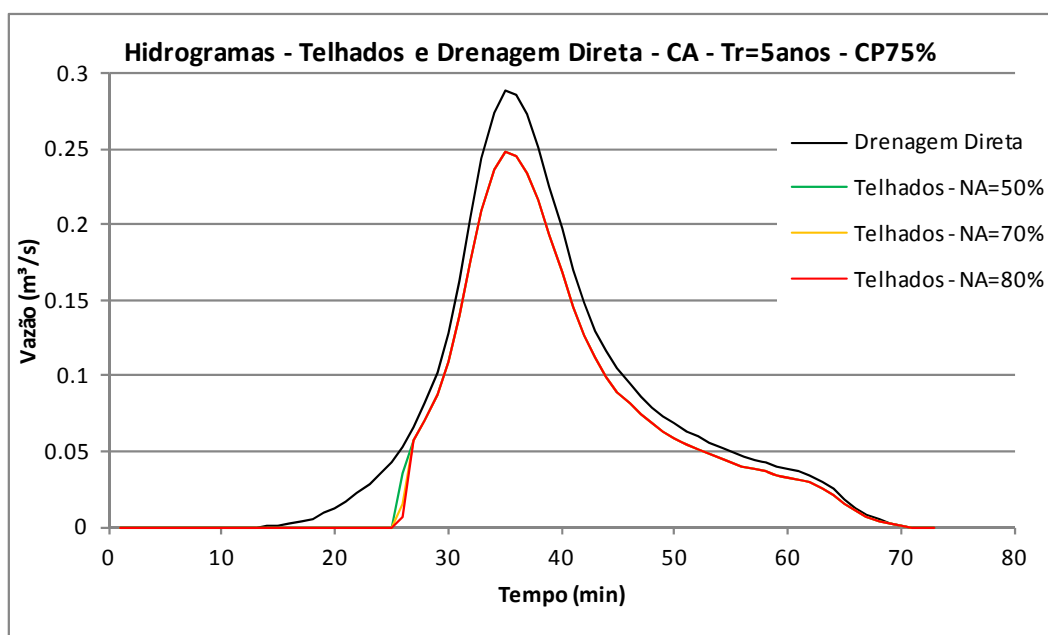


Figura 52 – Hidrogramas concentrados para bloco padrão classe alta para Tr=5anos e permanência de 75%

Na Figura 53 e Figura 54 são apresentados os hidrogramas concentrados de saída do bloco padrão de habitação popular, para os tempos de retorno de 2 e 5 anos, respectivamente, segregados para as áreas de drenagem direta (ruas, pátios e pisos impermeáveis) e para as áreas de telhado que direcionam suas águas para os reservatórios de água de chuva que realizam o desconto referente ao volume de espera com permanência de 75%, sendo a soma do hidrograma em linha preta com cada um dos hidrogramas em linha colorida (verde, laranja e vermelho) o total de saída do bloco.

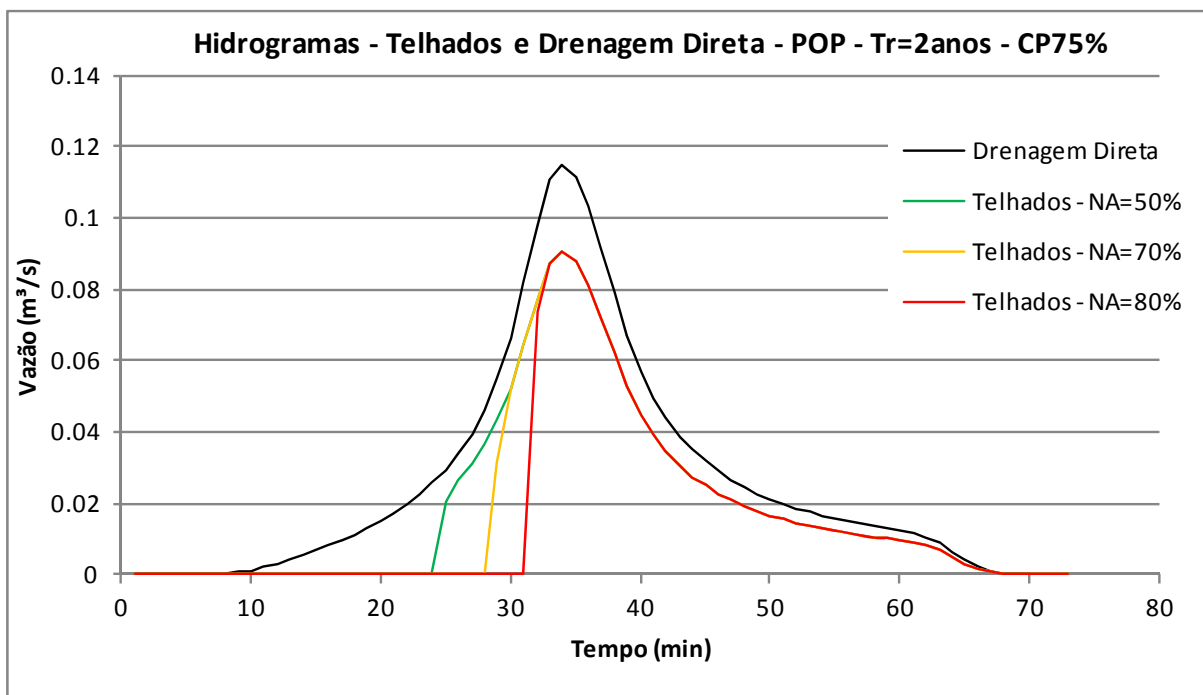


Figura 53 - Hidrogramas concentrados para bloco padrão popular para Tr=2anos e permanência de 75%

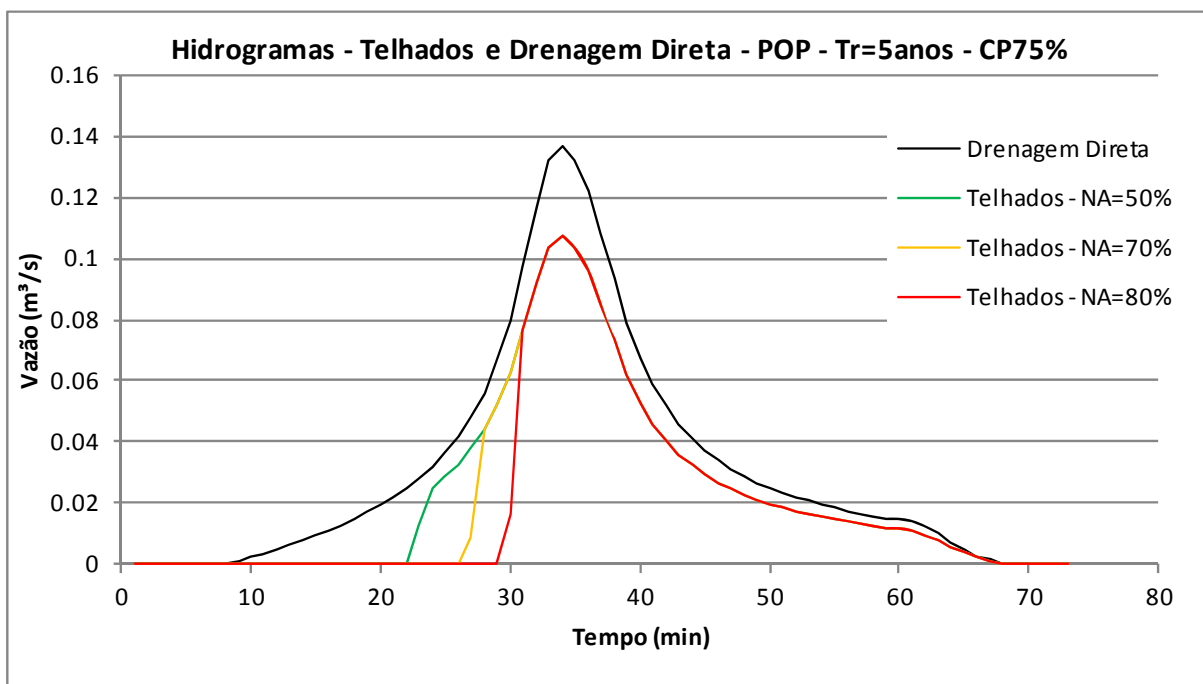


Figura 54 – Hidrogramas concentrados para bloco padrão popular para Tr=5anos e permanência de 75%

Na Figura 55 e Figura 56 são apresentados os hidrogramas concentrados de saída do bloco padrão de habitação popular, para os tempos de retorno de 2 e 5 anos, respectivamente, segregados para as áreas de drenagem direta (ruas, pátios e pisos impermeáveis) e para as áreas de telhado que direcionam suas águas para os reservatórios de água de chuva que realizam o desconto referente ao volume de espera com permanência de 90%, sendo a soma do hidrograma em linha preta com cada um dos hidrogramas em linha colorida (verde, laranja e vermelho) o total de saída do bloco.

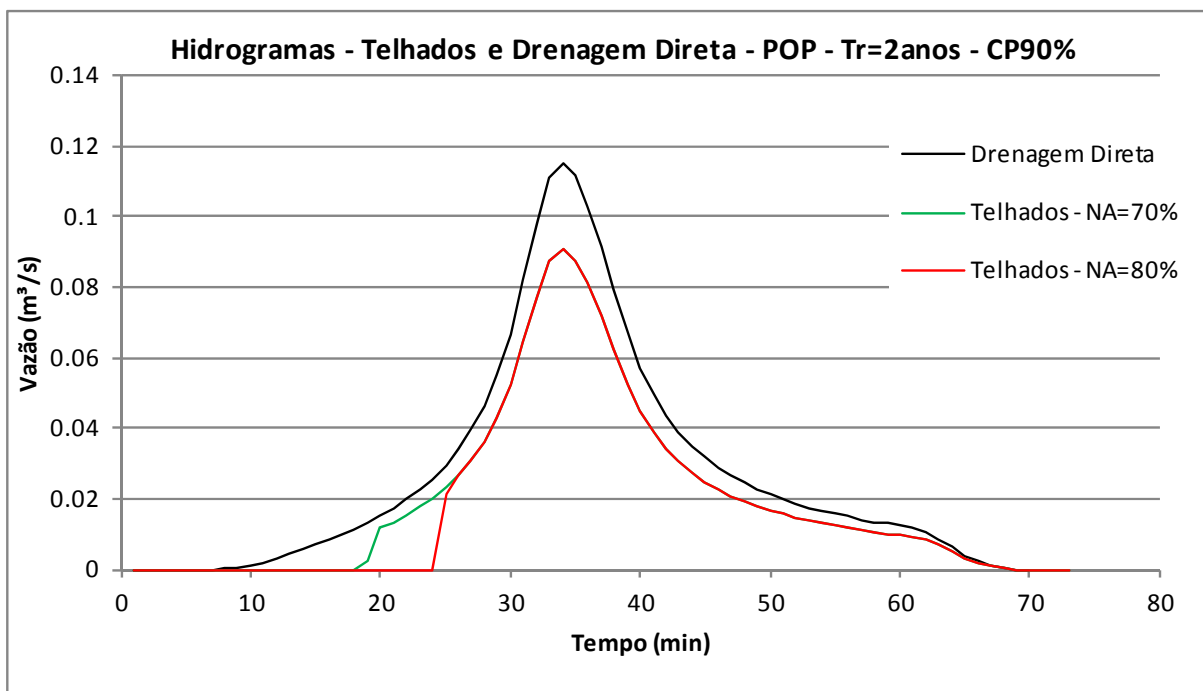


Figura 55 - Hidrogramas concentrados para bloco padrão popular para Tr=2anos e permanência de 90%

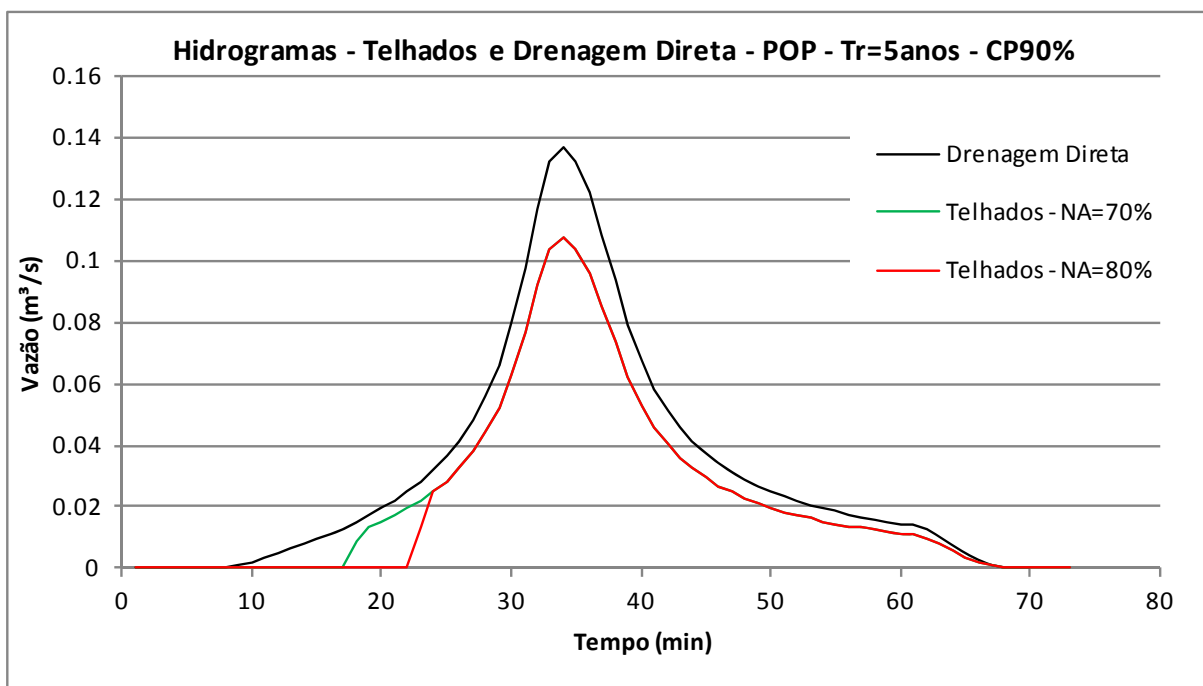


Figura 56 - Hidrogramas concentrados para bloco padrão popular para Tr=5anos e permanência de 90%

O efeito do volume retido nos reservatórios de água de chuva é percebido na elevação repentina da vazão para os hidrogramas de saída dos blocos que drenam as áreas de telhado, sendo este efeito mais pronunciado para o bloco padrão popular, já que os volumes de espera em relação aos volumes do hidrograma são mais significativos que para o caso do bloco padrão classe alta.

Cabe enfatizar que os reservatórios dos sistemas de aproveitamento de água de chuva foram dimensionados, e tiveram seu funcionamento simulado, exclusivamente para o atendimento à demanda residencial por água não potável, sendo que os referidos volumes de espera dizem respeito ao volume livre obtido das curvas de permanência responsável pela retenção do escoamento inicial.

A análise do efeito do aproveitamento de água de chuva para os hidrogramas concentrados aponta para uma ineficácia do aproveitamento de água de chuva na redução do pico de vazão que é lançada à rede de drenagem pela área de captação de chuva, que por fim causarão o extravasamento dos reservatórios, observa-se que se a análise fosse em relação ao hidrograma total de saída (drenagem direta mais os extravasamentos) o efeito, caso existisse, seria ainda menor.

4.2.4 Simulação Hidráulica

A partir dos hidrogramas concentrados para os blocos padrão, foram realizadas simulações hidráulicas a fim de avaliar o efeito da distribuição espacial destes lançamentos em uma rede pluvial, e, também, se a magnitude espacial da bacia tem alguma influência no hidrograma do exutório.

A aplicação metodológica foi para bacias hipotéticas montadas para os padrões de habitação classe alta e popular, e para áreas de 10 e 25ha (Figura 34).

A simulação foi realizada por meio do programa computacional SWMM, com discretização temporal de 1 minuto. A rede pluvial foi constituída de tubulações circulares com declividade constante de 3,5% e rugosidade de 0,0125, e tiveram, ainda, seus diâmetros ajustados de modo a não trabalharem a seção plena, conferindo erros de continuidade de menos de 1%.

A vazão inicial nas tubulações foi considerada nula, e os aportes de vazão são inseridos apenas nos nós da rede pluvial hipotética.

A Tabela 16 apresenta as combinações de simulações realizadas para as bacias hipotéticas, indicando as respectivas premissas e cenários, volumes de espera disponíveis, para o bloco e para a bacia, e indicação da figura correspondente ao hidrograma no exutório da bacia hipotética. Os hidrogramas resultantes do efeito da retenção dos sistemas de aproveitamento de água de chuva são sempre apresentados em conjunto com o hidrograma do cenário sem aproveitamento, ambos para a mesma bacia.

Tabela 16 – Combinações dos cenários e premissas utilizados nas simulações e figura com o respectivo hidrograma

Tr (anos)	Área(ha)	Nível de atendimento (%)	Permanência (%)	Volume de espera [bloco / bacia] (m³)		Figura correspondente	
				Popular	Classe Alta	Popular	Classe Alta
2	10	s/ aprov. chuva	-	-	-	-	-
		50	75	7,97/128	9,84/59	Figura 57	Figura 58
			90	0 / 0	0 / 0	-	-
		70	75	15,59/249	11,07/66	Figura 59	Figura 60
			90	2,99	0 / 0	Figura 61	-
		80	75	24,66/395	11,58/69	Figura 62	Figura 63
	90		7,63/122	0/0	Figura 64	-	
	25	s/ aprov. chuva	-	-	-	-	-
		50	75	7,97/319	9,84/138	Figura 65	Figura 66
			90	0/0	0/0	-	-
		70	75	15,59/624	11,07/155	Figura 67	Figura 68
			90	2,99/120	0/0	Figura 69	-
		80	75	24,63/986	11,58/162	Figura 70	Figura 71
	90		7,63/305	0/0	Figura 72	-	
5	10	s/ aprov. chuva	-	-	-	-	-
		50	75	7,97/128	9,84/59	Figura 73	Figura 74
			90	0 / 0	0 / 0	-	-
		70	75	15,59/249	11,07/66	Figura 75	Figura 76
			90	2,99	0 / 0	Figura 77	-
		80	75	24,66/395	11,58/69	Figura 78	Figura 79
	90		7,63/122	0/0	Figura 80	-	
	25	s/ aprov. chuva	-	-	-	-	-
		50	75	7,97/319	9,84/138	Figura 81	Figura 82
			90	0/0	0/0	-	-
		70	75	15,59/624	11,07/155	Figura 83	Figura 84
			90	2,99/120	0/0	Figura 85	-
		80	75	24,63/986	11,58/162	Figura 86	Figura 87
	90		7,63/305	0/0	Figura 88	-	

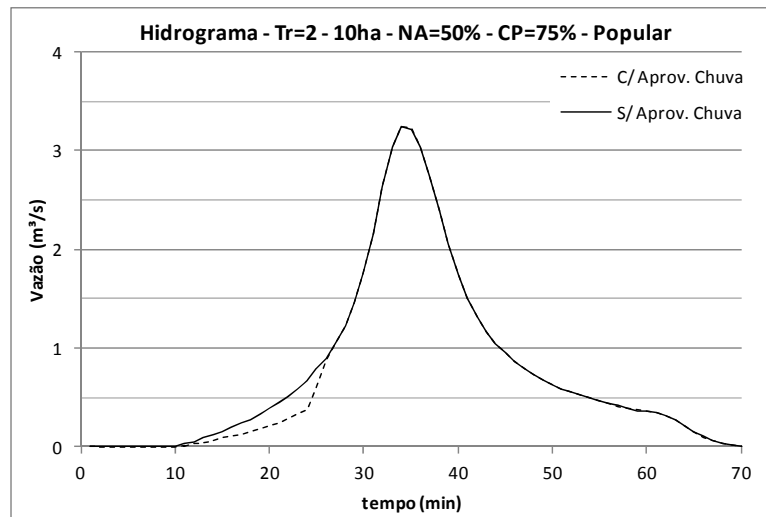


Figura 57 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 10ha, NA=50% e CP=75%

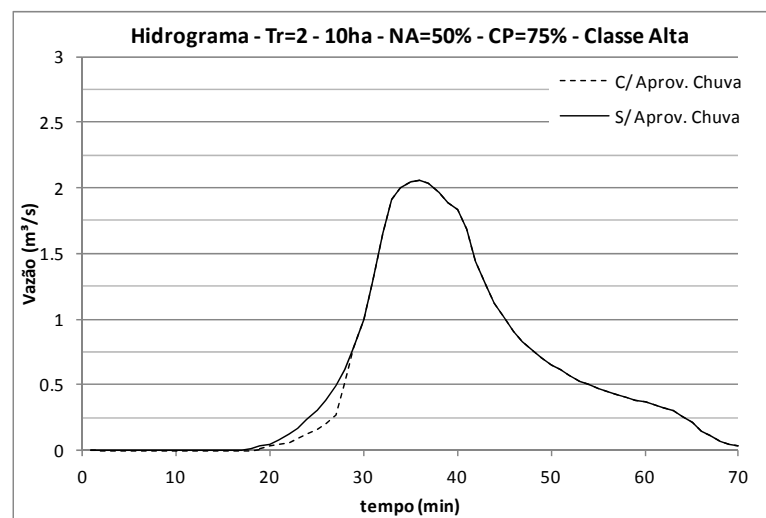


Figura 58 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=2anos, 10ha, NA=50% e CP=75%

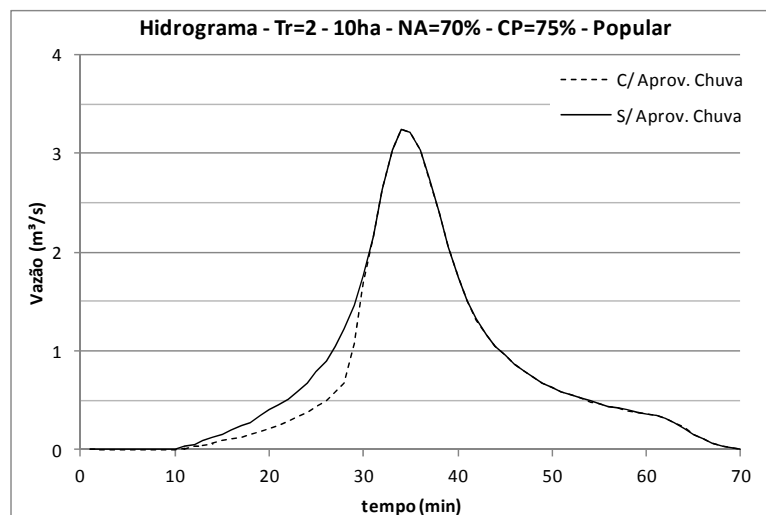


Figura 59 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 10ha, NA=70% e CP=75%

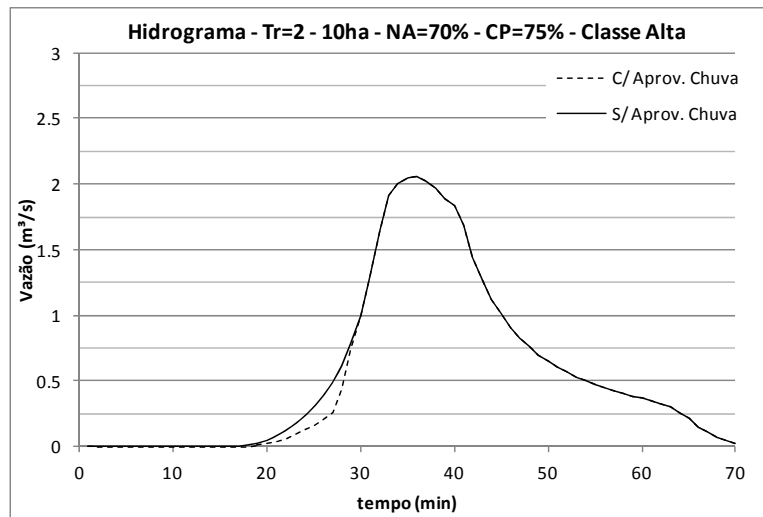


Figura 60 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=2anos, 10ha, NA=70% e CP=75%

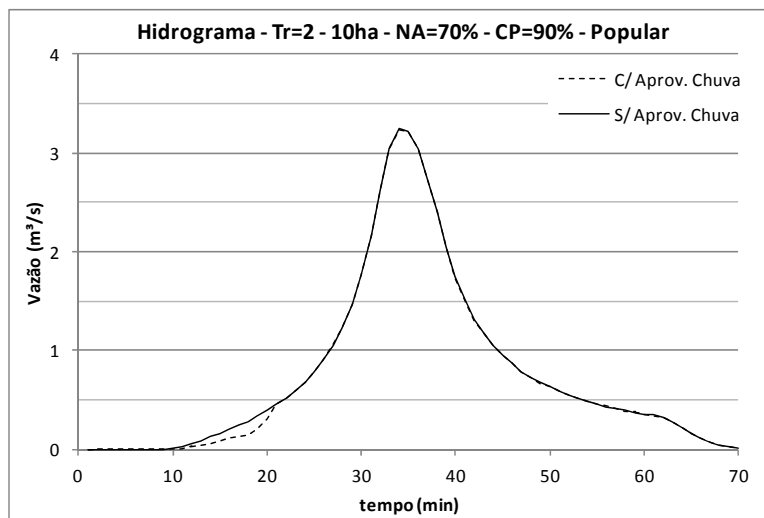


Figura 61 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 10ha, NA=70% e CP=90%

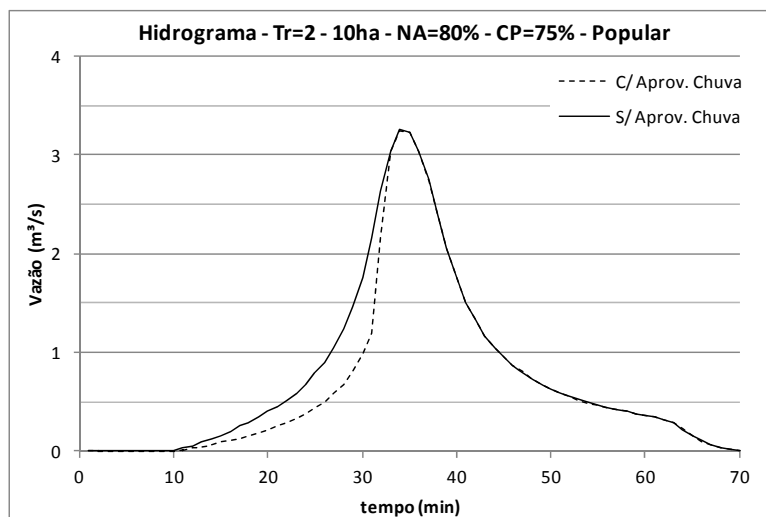


Figura 62 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 10ha, NA=80% e CP=75%

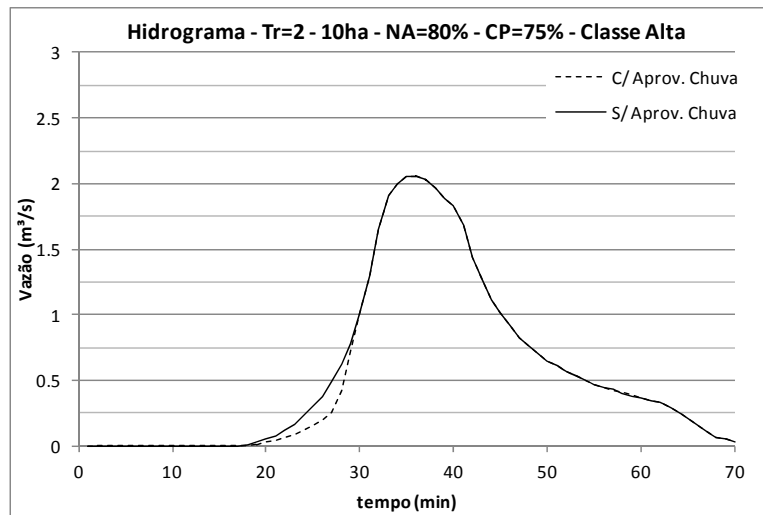


Figura 63 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=2anos, 10ha, NA=80% e CP=75%

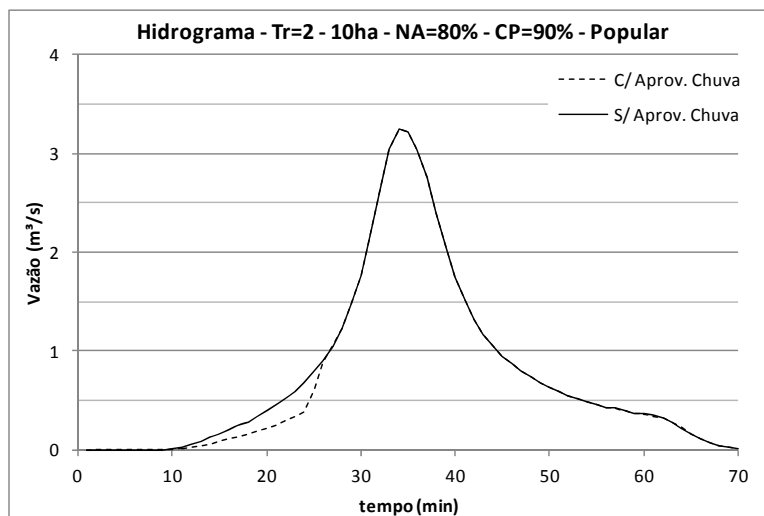


Figura 64 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 10ha, NA=80% e CP=90%

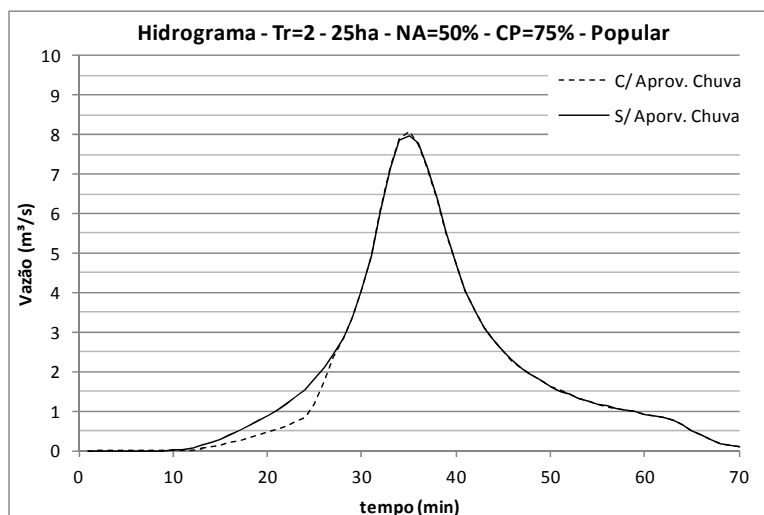


Figura 65 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 25ha, NA=50% e CP=75%

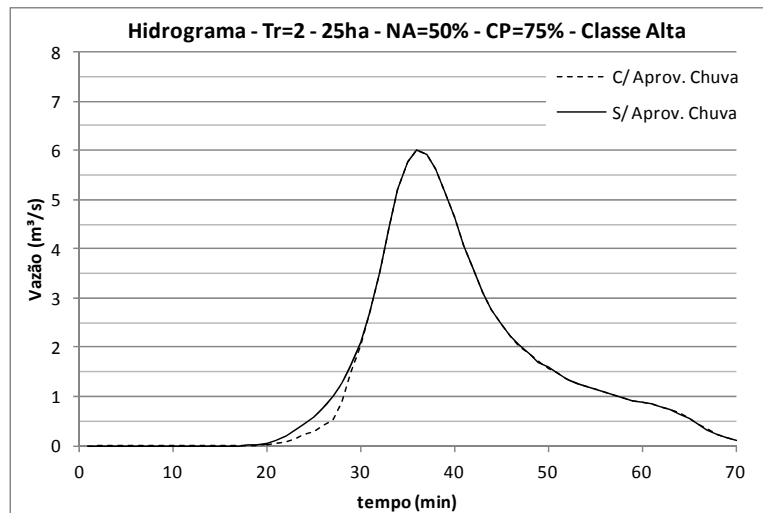


Figura 66 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=2anos, 25ha, NA=50% e CP=75%

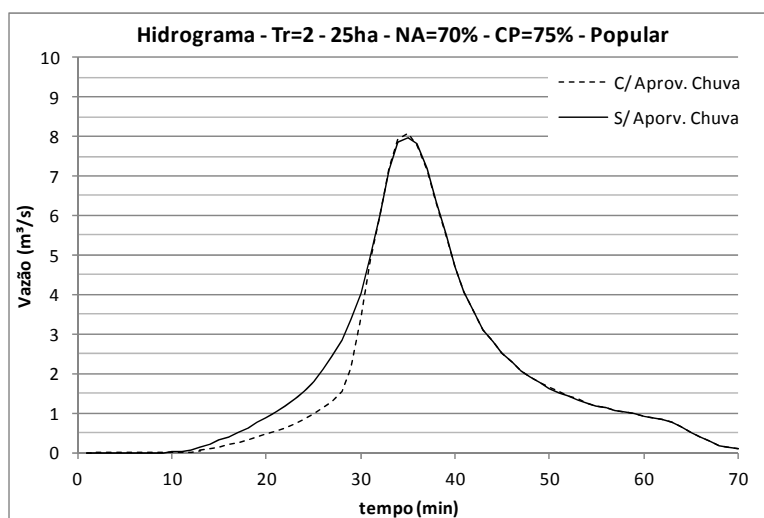


Figura 67 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 25ha, NA=70% e CP=75%

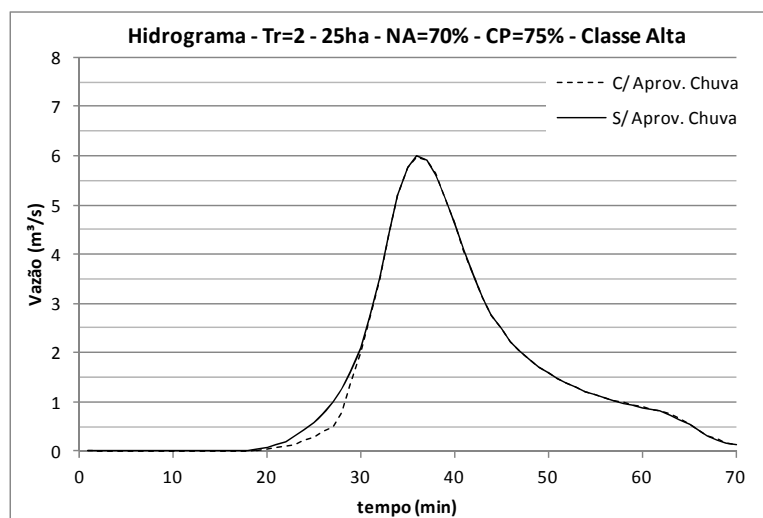


Figura 68 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=2anos, 25ha, NA=70% e CP=75%

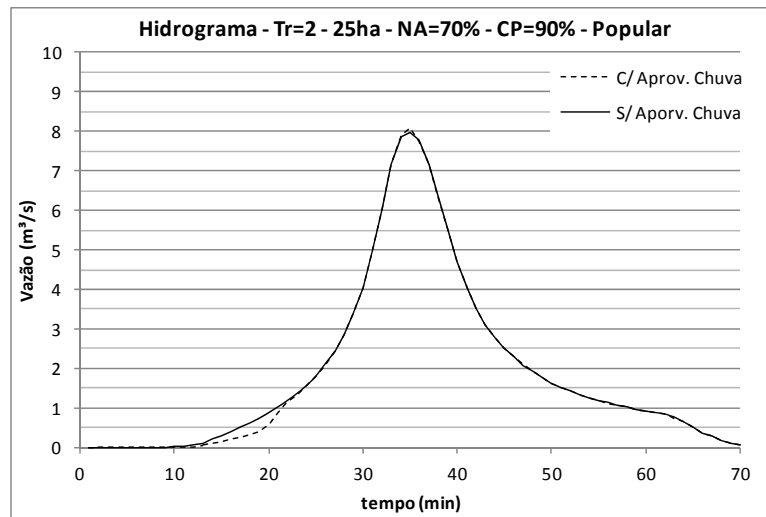


Figura 69 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 25ha, NA=70% e CP=90%

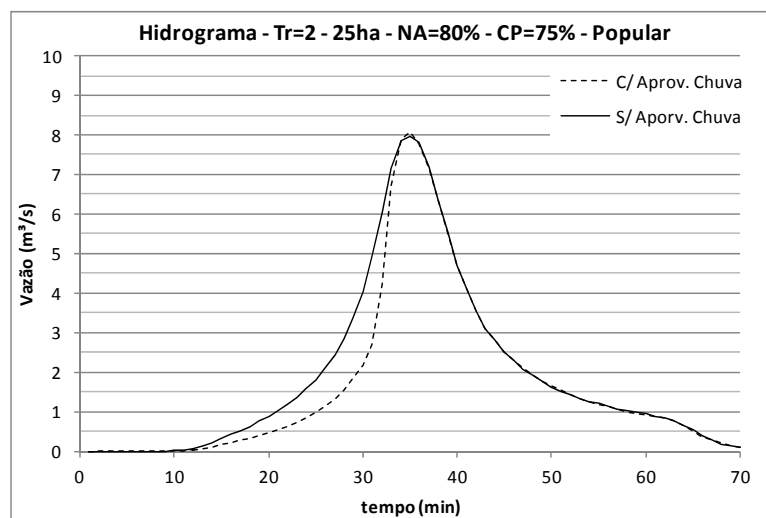


Figura 70 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 25ha, NA=80% e CP=75%

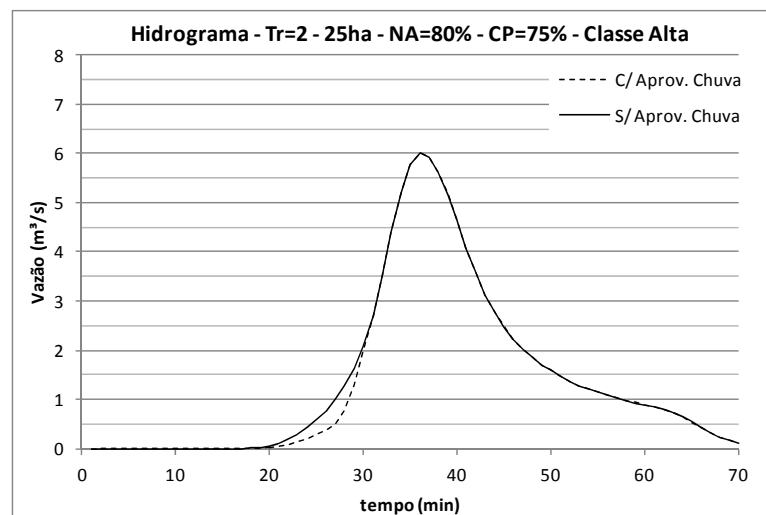


Figura 71 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=2anos, 25ha, NA=80% e CP=75%

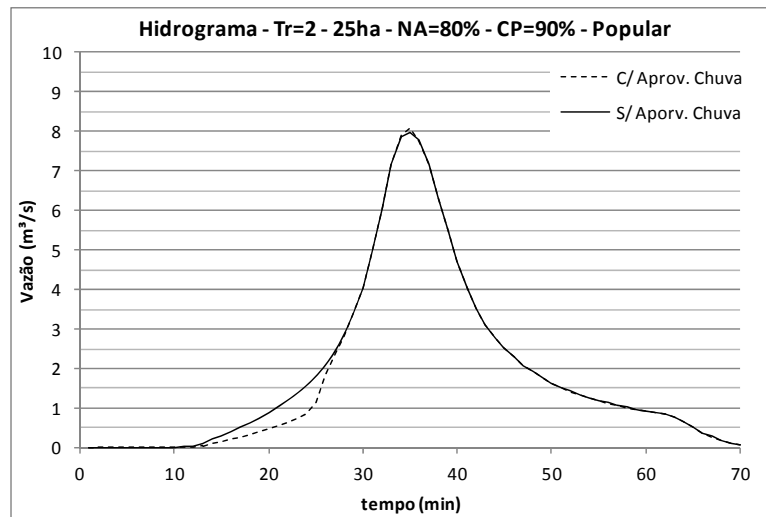


Figura 72 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 2anos, 25ha, NA=80% e CP=90%

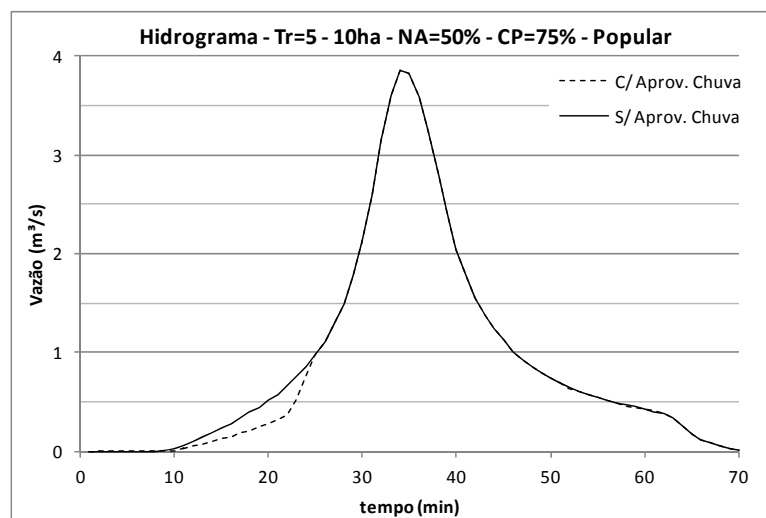


Figura 73 – Hidrograma bacia padrão popular – Tr= 5anos, 10ha, NA=50% e CP=75%

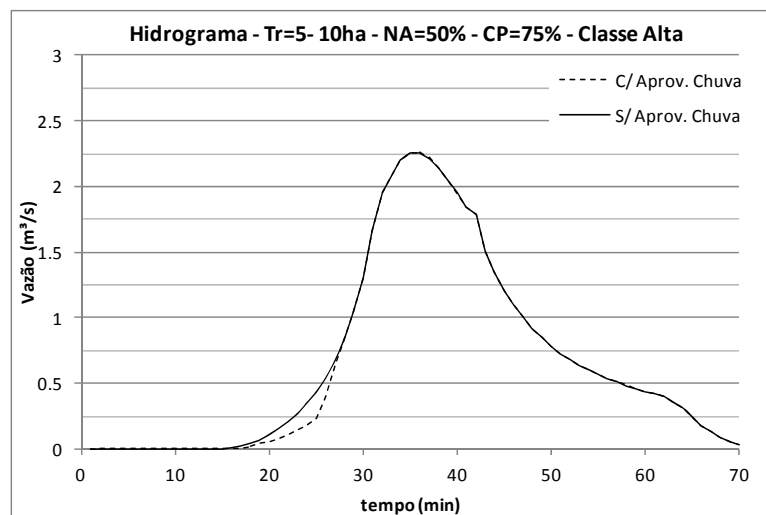


Figura 74 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 10ha, NA=50% e CP=75%

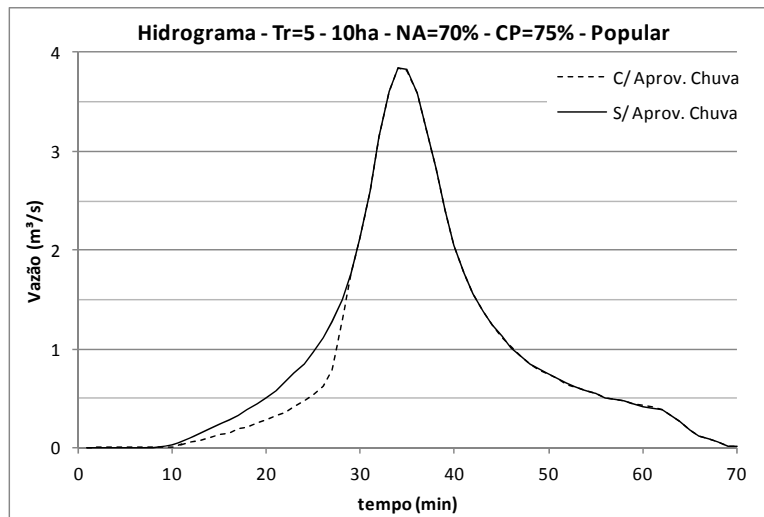


Figura 75 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 10ha, NA=70% e CP=75%

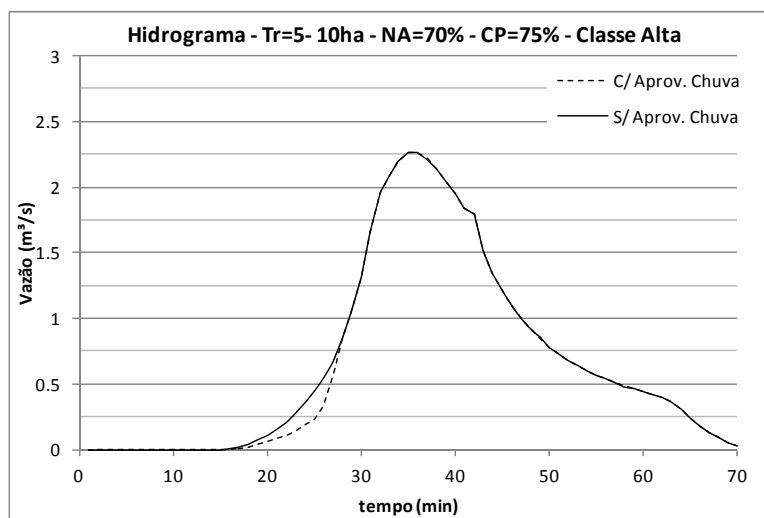


Figura 76 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 10ha, NA=70% e CP=75%

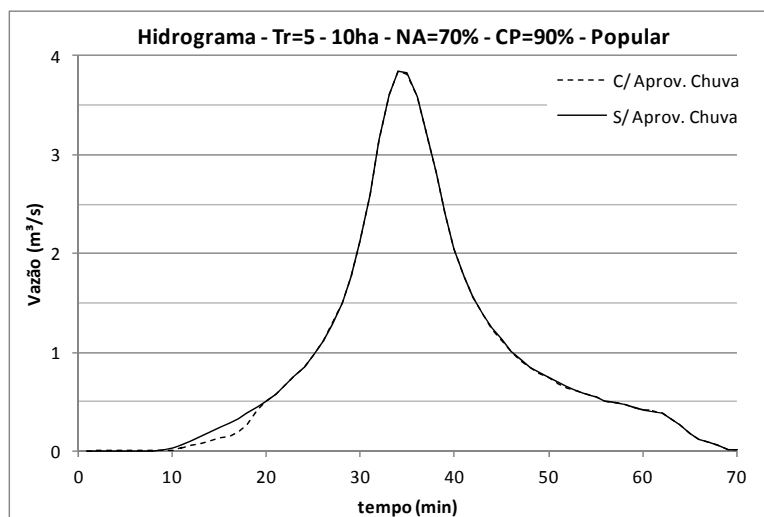


Figura 77 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 10ha, NA=70% e CP=90%

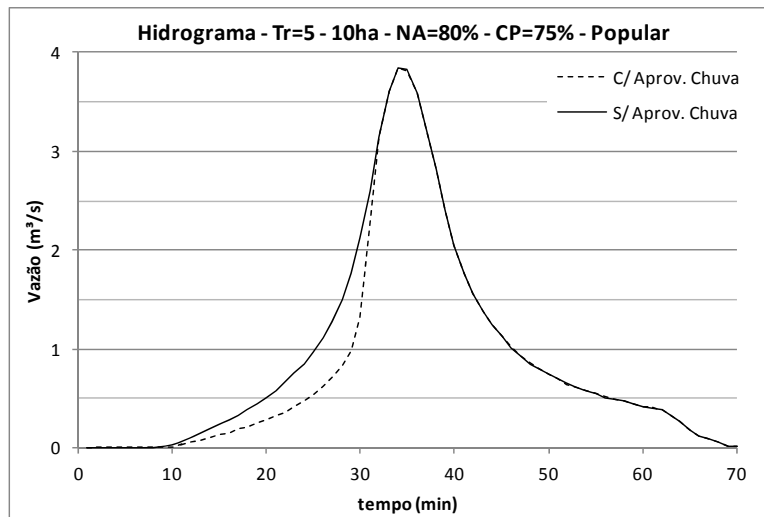


Figura 78 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 10ha, NA=80% e CP=75%

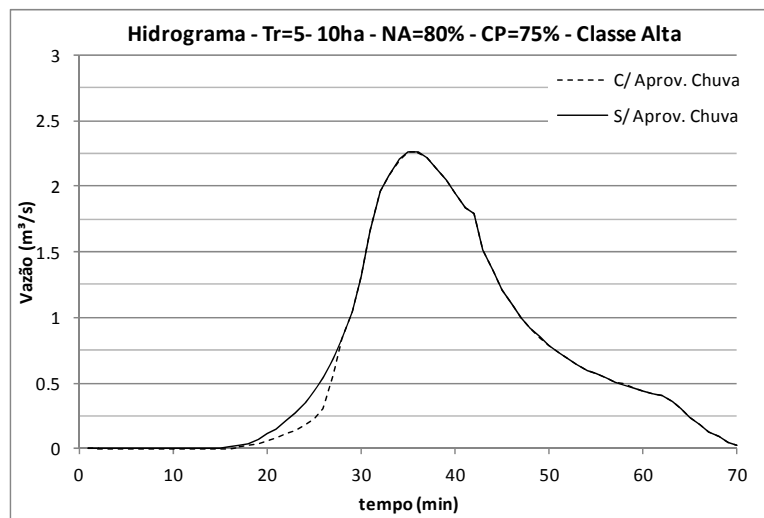


Figura 79 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 10ha, NA=80% e CP=75%

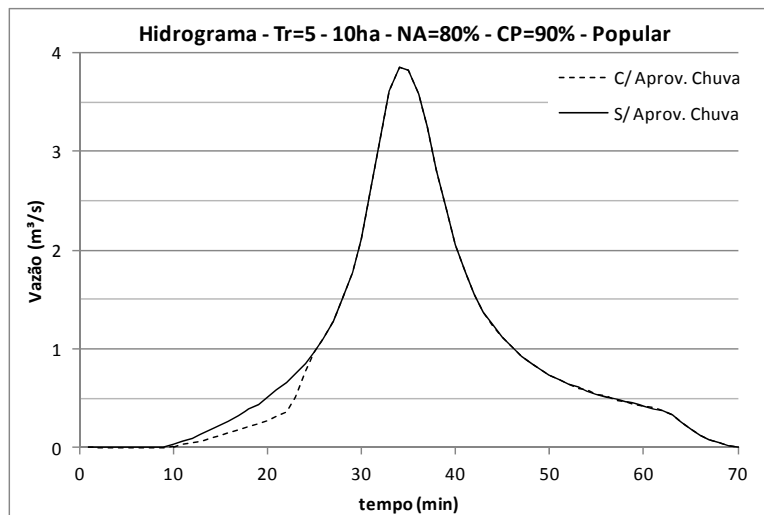


Figura 80 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 10ha, NA=80% e CP=90%

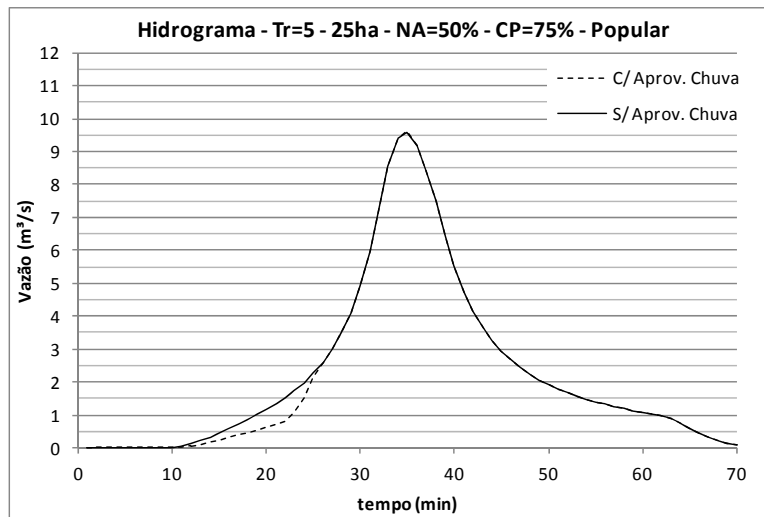


Figura 81 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 25ha, NA=50% e CP=75%

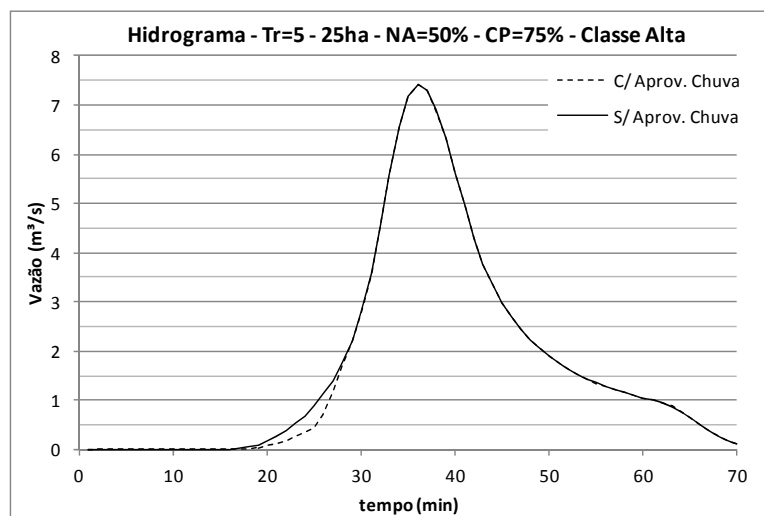


Figura 82 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 25ha, NA=50% e CP=75%

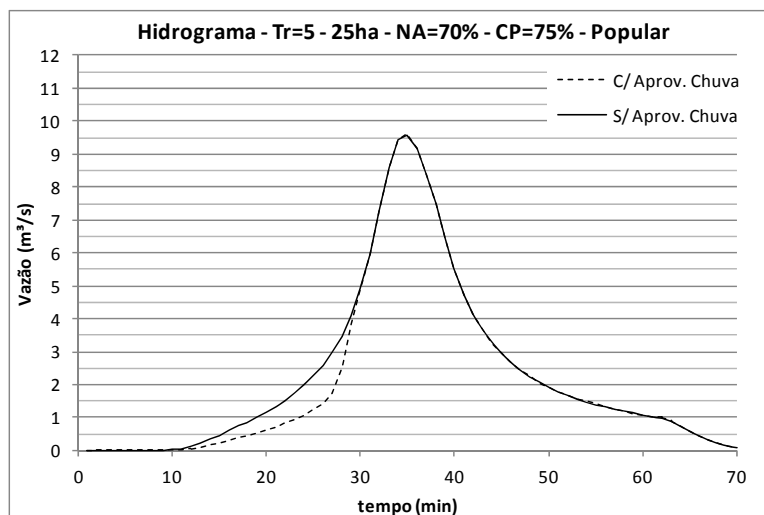


Figura 83 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 25ha, NA=70% e CP=75%

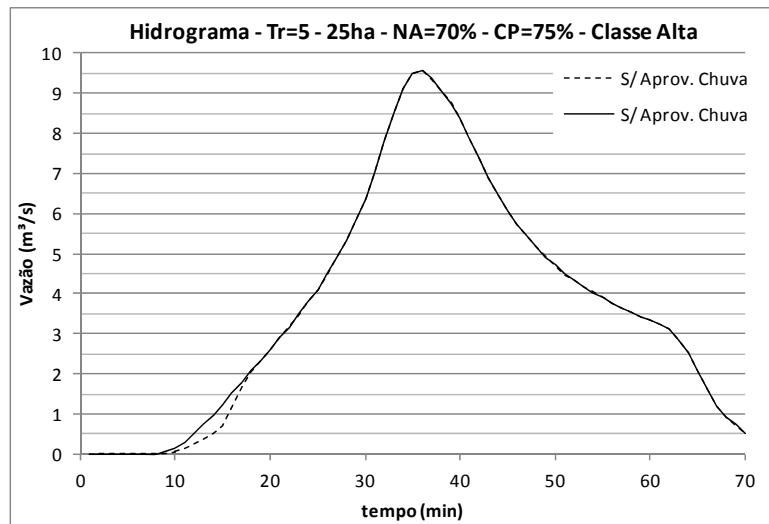


Figura 84 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 25ha, NA=70% e CP=75%

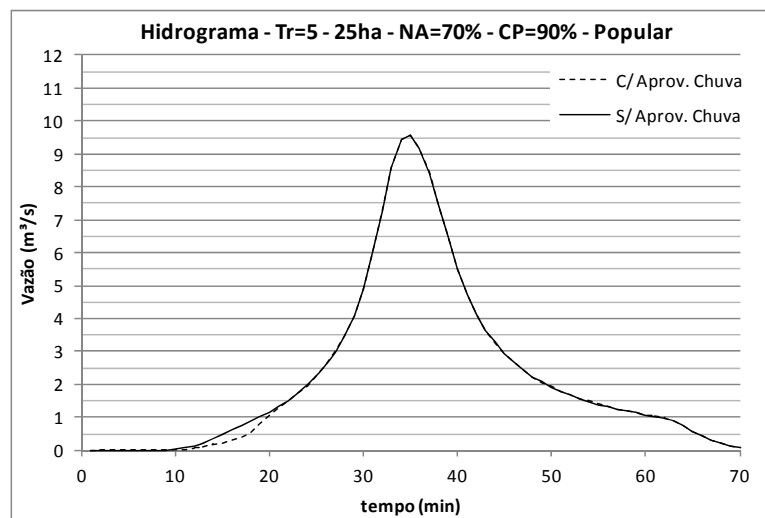


Figura 85 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 25ha, NA=70% e CP=90%

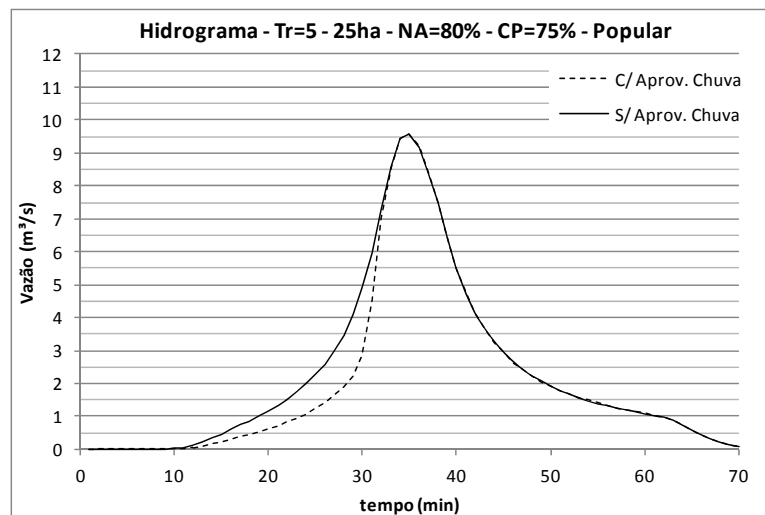


Figura 86 – Hidrograma bacia padrão popular - Tr= 5anos, 25ha, NA=80% e CP=75%

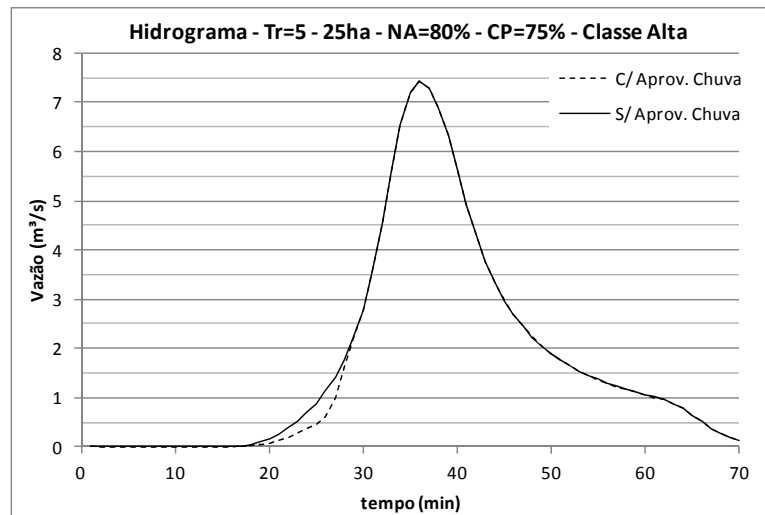


Figura 87 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 25ha, NA=80% e CP=75%

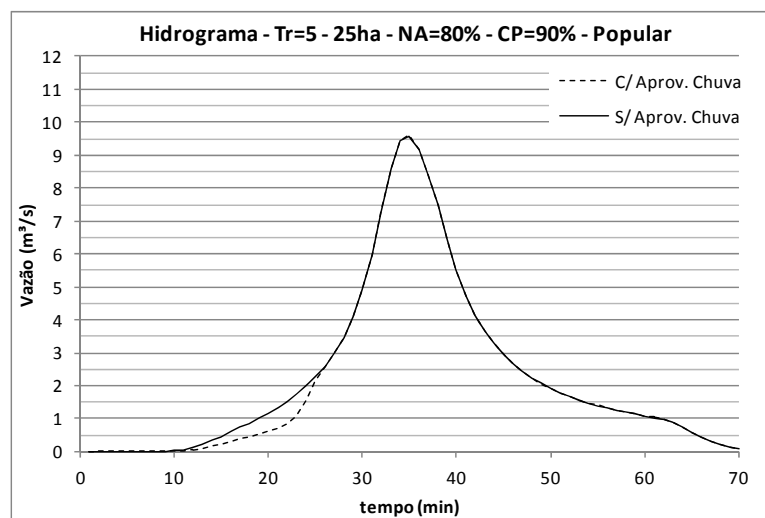


Figura 88 – Hidrograma bacia padrão classe alta – Tr=5anos, 25ha, NA=80% e CP=90%

Os hidrogramas resultantes dos cenários com aproveitamento de água de chuva não apresentaram, em comparação com o cenário base (sem aproveitamento de água de chuva), redução no valor da vazão de pico. O efeito da adoção de sistemas de aproveitamento de água de chuva na vazão da rede pluvial foi o de reter parcialmente a vazão inicial do hidrograma. Para as bacias hipotéticas simuladas, as retenções não tiveram efeito no pico, nem mesmo em termos temporais (atrasando ou adiantando o momento de ocorrência do pico). Os valores volumétricos dos hidrogramas para os cenários e premissas adotados e as respectivas reduções percentuais estão apresentados na Tabela 17.

Algum efeito na redução da vazão de pico poderia ser observado ao simular uma bacia com tempo de concentração da mesma ordem de grandeza do tempo de duração da precipitação (1h), e que tenha todos os lotes residenciais realizando a captação de chuva, no entanto esperam-se reduções insignificantes visto que a capacidade de retenção é pequena em comparação com o volume total dos hidrogramas.

Além, da pequena parcela que é possível reter com reservatórios de água de chuva, para garantias adequadas (permanências do volume de espera superiores a 75%), a avaliação em bacias maiores que as aqui simuladas, terá um redutor adicional, que é a proporção entre a área de telhados e

a área da bacia, que sofrerá redução em relação à obtida para as bacias hipotéticas deste trabalho, em que foram utilizadas bacias totalmente loteadas com edificações residenciais unifamiliares. Esta redução na proporção das áreas se dá, para uma bacia com padrões de habitação heterogêneos, pelo fato de existirem mais áreas de drenagem direta, como, por exemplo: pátios de lotes industriais e comerciais, vazios urbanos e vias mais largas (arteriais).

Tabela 17 – Volumes dos hidrogramas no exutório das bacias hipotéticas e a redução percentual causada pelos reservatórios de aproveitamento de água de chuva

Tr (anos)	Área(ha)	Nível de atendimento (%)	Permanência (%)	Volume hidrograma (m³)		Redução do volume (%)	
				Popular	Classe alta	Popular	Classe alta
2	10	s/ aprov. chuva	-	3.211	2.393	-	-
		50	75	3.085	2.333	3,94	2,48
			90	-	-	-	-
		70	75	2.962	2.326	7,77	2,78
			90	3.160	-	1,61	-
		80	75	2.819	2.324	12,22	2,86
	90		3.083	-	3,98	-	
	25	s/ aprov. chuva	-	7.994	5.937	-	-
		50	75	7.678	5.800	3,96	2,31
			90	-	-	-	-
		70	75	7.373	5.782	7,78	2,62
			90	7.876	-	1,49	-
		80	75	7.006	5.778	12,37	2,68
	90		7.676	-	3,99	-	
5	10	s/ aprov. chuva	-	3.843	2.824	-	-
		50	75	3.715	2.765	3,34	2,06
			90	-	-	-	-
		70	75	3.593	2.758	6,49	2,34
			90	3.792	-	1,33	-
		80	75	3.449	2.755	10,26	2,44
	90		3.716	-	3,31	-	
	25	s/ aprov. chuva	-	9.577	7.394	-	-
		50	75	9.259	7.255	3,31	1,87
			90	-	-	-	-
		70	75	8.957	7.239	6,47	2,09
			90	9.458	-	1,24	-
		80	75	8.589	7.232	10,31	2,18
	90		9.263	-	3,28	-	

Dentre os dois padrões de habitação avaliados o que apresentou maiores reduções nos volumes dos hidrogramas simulados foi o padrão popular, devido a sua maior demanda unitária (L/dia.m²). Resultados semelhantes, ou mais redutores do volume do hidrograma, poderiam ser obtidos para blocos com padrão de habitação multifamiliar (edifícios residências) onde a demanda unitária pode ser da mesma ordem ou maior que a em habitações populares, dependendo dos usos previstos para a água não potável captada no telhado.

Comparando-se os resultados das simulações para as mesmas premissas, mas para as bacias com área de 10 e 25ha, não foi detectado efeito de escala no resultado dos volumes retidos pelos reservatórios. Porém, para bacias maiores é possível ocorrerem modificações devido ao fato de as proporções da área de telhado e da bacia não se manterem iguais às de bacias pequenas.

Assim, não foi possível detectar o efeito redutor da vazão de pico ao nível de lançamentos pluviais de loteamentos para as condições de precipitação do município de Porto Alegre, mesmo para um risco pouco conservador (permanência do volume de espera de 75% e tempos de retorno de 2 e 5 anos), não sendo possível afirmar sua colaboração na redução de alagamentos na macro-drenagem.

A ineficiência em redução do pico de vazão na rede pluvial, para as características pluviométricas, de consumo e hidrológicas das bacias urbanas de Porto Alegre pode ser explicada pelo próprio propósito do aproveitamento de água de chuva que é o de apenas atender à demanda de água, não garantindo volumes de espera suficientes para causar tal efeito no pico de vazão da rede pluvial.

Eventualmente, podem ocorrer situações em que os reservatórios possam estar vazios, ou em níveis próximos ao vazio, que terão efeito na redução da vazão de pico, no entanto, serão ocorrências esporádicas, com pequena garantia, o que não encoraja alegar tal benefício à drenagem urbana.

Os resultados aqui apresentados não podem ser generalizados para outras regiões. Para cada local de interesse é fundamental a reaplicação da metodologia proposta, já que existem importantes variações das características que regem o funcionamento de sistemas de aproveitamento de água de chuva.

5 Conclusões

Com o objetivo de avaliar o efeito do aproveitamento de água de chuva nas vazões da rede de drenagem pluvial o presente trabalho apresentou inicialmente uma revisão geral a respeito do tema, contextualizando e fundamentando os aspectos que o ligam ao atual cenário de fomento ao aproveitamento de água de chuva por parte de ações governamentais e conscientização ambiental.

A parte metodológica desenvolvida para atingir o objetivo teve duas etapas, sendo a primeira de definição de um método de dimensionamento de reservatórios de água de chuva mais condizente com as características das precipitações locais, e que fornecesse índices de desempenho. Nesta etapa, foram gerados resultados que permitem o dimensionamento de reservatório de água de chuva nas capitais estaduais brasileiras mais o Distrito Federal. A segunda etapa teve como objetivo mensurar o efeito do aproveitamento de chuva na vazão da rede de drenagem pluvial, sendo, para tanto, selecionada como área de aplicação metodológica o município de Porto Alegre/RS. A metodologia utilizou dados de demanda por água e precipitação locais, bem como as características hidrológicas de suas bacias urbanas.

5.1 Ábacos para Dimensionamento do Reservatório para Aproveitamento de Água de Chuva

A determinação do volume para reservação de água de chuva é fundamental tanto para estudos de viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, quanto para a avaliação do efeito na vazão da rede pluvial que estes sistemas causam, sendo este último, o objetivo principal do presente trabalho.

A partir dessa necessidade, buscou-se definir um método de determinação do volume de reservação necessário para que, com as características do sistema de aproveitamento de água de chuva, e o regime de chuvas local, fossem indicados níveis de desempenho do sistema para atendimento à demanda por água não-potável e percentuais de extravasamento.

O método proposto foi o de obter os índices de desempenho do sistema de aproveitamento de água de chuva por meio de simulação de balanço diário de massa. Para a simulação de balanço de massa foi utilizada a técnica de Monte Carlo, onde foram utilizadas 20 séries sintéticas com 30 anos de precipitação geradas para todas as capitais brasileiras, mais o distrito federal, com base nas estatísticas das séries de chuva, evitando assim a interferência de anomalias climáticas.

A qualidade das séries sintéticas de precipitação geradas foi adequada ao avaliar o coeficiente de determinação entre os histogramas sintéticos e observados, bem como os acumulados totais. Quanto ao número de dias chuvosos as séries sintéticas tiveram uma tendência em subestimar a quantidade de dias chuvosos, no entanto foram adicionados dois coeficientes auxiliares para atenuar este problema, ficando a subestimação média (para todas capitais mais o distrito federal) em 2,5%.

Ainda, quanto à qualidade das séries sintéticas de precipitação geradas, foi detectada uma inaptidão do uso do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov para séries de precipitação diária com 30 anos ou mais, fato este detectado ao observar-se, que para séries sintéticas mais curtas (<10anos) geradas com a mesma metodologia, a hipótese de elas terem a distribuição de probabilidades significativamente semelhantes era aceita com maior frequência que para as séries longas (>30anos). Assim, a fim de prover uma garantia extra da qualidade das séries sintéticas geradas, os resultados da simulação de balanço de massa com as séries sintéticas foram comparados com o resultado utilizando a série observada, de forma a verificar se este último resultado (com a série de precipitação observada) estava dentro do intervalo de confiança de 90% da dispersão dos resultados das simulações com as séries sintéticas, nos casos que isso não ocorria os coeficientes auxiliares (*A* e *B*) eram alterados minimamente para que esta condição fosse atendida.

A partir das séries sintéticas de precipitação foram realizadas as simulações de balanço de massa para a obtenção das curvas de dimensionamento para os locais de interesse (para todas capitais mais o distrito federal). As curvas obtidas permitem ao projetista obter níveis de atendimento à demanda por água não-potável ou o percentual de extravasamento ao adotar demandas e volume de reservação para a área de captação disponível.

Assim, para cada local de aplicação da metodologia foi criada uma ficha de consulta constituída de 3 páginas, contendo na primeira página as informações do local do posto pluviométrico e uma apresentação de tabelas e gráficos para atestar a qualidade das séries sintéticas geradas. Na segunda página estão os ábacos para dimensionamento, e por fim, na terceira página, estão os mesmos resultados utilizados na construção dos ábacos em forma de tabela para interpolação.

Uma tentativa de ajuste de equações paramétricas das curvas de dimensionamento não teve sucesso, evidenciando o comportamento não sistemático das curvas, ou seja, com regiões de forte variação dos índices de desempenho (nível de atendimento à demanda e extravasamento). Nesta tentativa foram testadas 6 equações com 4 parâmetros ajustáveis. Inclusive uma tentativa de parametrizar os parâmetros não foi bem sucedida, já que, também, não puderam ser determinadas equações que descrevessem um comportamento sistemático dos parâmetros em função do volume de reservação.

Em comparação com outros métodos de dimensionamento, especialmente os práticos que usam uma equação de simples proporcionalidade da precipitação anual com o volume de reservação, o método por ábacos adimensionais mostra-se vantajoso, já que, permite obter facilmente os índices de desempenho, oriundos de simulações de balanço por técnica de Monte Carlo para distintas combinações de premissas de projeto, embasando, assim, a decisão do projetista.

A aplicação da metodologia isoladamente por projetistas seria um investimento inviável de tempo por ser um tanto trabalhosa, indicando que uma maior quantidade de localidades contempladas

com ábacos seria interessante, de modo a congruir com a tendência de popularização do aproveitamento de água de chuva no Brasil.

5.2 Efeito na Vazão da Rede Pluvial

Um dos possíveis benéficos atribuídos ao aproveitamento de água de chuva no meio urbano é a redução dos alagamentos urbanos, benefício este alvo de raros trabalhos, e que em sua maioria abordam o tema com especificidade ou simplicidade que impossibilitam a mensuração do seu efeito na vazão da rede pluvial.

Sendo a avaliação deste efeito o tema inspirador deste trabalho foi definida uma metodologia para realizar esta mensuração, a qual foi aplicada de forma a representar as características de consumo de água em habitações residenciais e para o regime de chuvas do município de Porto Alegre. Este local também foi selecionado por ter um manancial competente para o atendimento à demanda por água da população, reduzindo os benefícios exaltados quando da escassez de água e da valorização das fontes alternativas.

Os resultados e conclusões desta aplicação metodológica limitam-se, então, ao município de Porto Alegre, tendo sido adotados para isto lotes residenciais, por serem estes os que ocupam a maior parcela do limite urbano municipal, por terem uma mais fácil (menor incerteza) caracterização dos consumos de água devido a sua maior uniformidade em relação aos lotes com outros tipos edifícios.

Foram eleitos padrões de habitação classe alta e popular para avaliar que influência as características físicas (tamanho do lote e área de telhado) e de consumo de água podem ter na vazão da rede pluvial, e em adição a esta discriminação, foram estabelecidas premissas e cenários diversificados com o intuito de examinar entre limites de suas variações razoáveis o efeito do aproveitamento de água de chuva na vazão da rede pluvial.

Quanto aos dados de consumo de água para os padrões de habitação amostrados, os valores obtidos foram bastante distintos entre si, sendo em valores totais absolutos 821L/dia e 368L/dia, respectivamente para habitações classe alta e popular, no entanto em termos de consumo não-potável unitário, ou seja, consumo por área unitária de telhado, ocorre uma inversão drástica, passando o consumo do lote popular para 2,8L/dia.m² e o do lote de classe alta para 1,3L/dia.m².

Os valores de demanda unitária foram utilizados no dimensionamento dos reservatórios de água de chuva mostrando o paradoxo de o lote padrão de habitação classe alta ter reservatórios maiores (em valores absolutos), porém apresentar maiores percentuais de extravasamento. A explicação para isso recai sobre as demandas unitárias, onde o lote classe alta apresenta consumo menor de água por área de telhado que o lote popular, que, apesar de fornecerem o mesmo nível de atendimento a demanda, tem permanências de volumes de água no reservatório distintos.

Os volumes dos reservatórios obtidos pelo método de dimensionamento proposto ficaram dentro de faixas de valores factíveis quanto às dimensões para construção (entre 300 e 2.000L), sendo estes compatíveis com as capacidades de reservatórios pré-fabricados comercializados tradicionalmente.

A probabilidade do volume disponível no reservatório de água de chuva foi obtida pela curva de permanência média das simulações de balanço de massa para os conjuntos de séries sintéticas de precipitação e consumo. Foi possível adotar uma única curva de permanência de volume de espera para todo ano hidrológico, devido à uniformidade das médias e do número de dias chuvosos.

Neste trabalho não foi possível detectar a influência do regime de chuvas e padrão de consumo na ineficiência em reduzir o pico de vazão na rede de drenagem, já que a avaliação deste efeito foi realizada apenas para o município de Porto Alegre. No caso de aplicação da metodologia em outros locais, deve-se rever o método de estimar os volumes de espera em função da sazonalidade climática de cada região, sendo necessária a determinação da curva de permanência para o período crítico de ocorrência de chuvas intensas, em especial, o final do período de chuvas onde os reservatórios estarão, provavelmente, em seus máximos níveis de água. Por outro lado, provavelmente, o efeito na vazão da drenagem urbana, devido ao aproveitamento de água de chuva, será mais pronunciado a princípio do período chuvoso, em regiões com forte sazonalidade pluvial, já que o dimensionamento dos reservatórios em regiões assim resulta maiores volumes, e ao final do período de estiagem eles terão maiores volumes de espera que causarão a retenção de maior volumes em comparação com obtido em Porto Alegre.

O aumento do volume de espera para as permanências altas (>90%) foi pouco sensível ao aumento de capacidade de reservação para a menor demanda unitária simulada (padrão de habitação classe alta com 1,3L/dia.m²). Para reservatórios com grande capacidade de reservação a curva de permanência apresenta um comportamento de linearização, tornando direta e linear a relação da permanência com o volume de espera, ou seja, para uma determinada permanência, por exemplo, 80%, o volume de espera será correspondente à fração do complemento, que, conforme o exemplo, corresponderá a 20% da capacidade de reservação.

O método de Monte Carlo foi importante ao verificar que a dispersão de resultados para cada série sintética é significativa devido aos degraus (patamares) observados nas curvas de permanência onde os trechos verticais apresentam uma alta taxa de variação com a permanência. Estes patamares são causados pelo consumo quantizado nos dias subseqüentes aos dias em que o reservatório atingiu seu nível máximo.

Os volumes de espera obtidos para as permanências de 90%, sendo esta considerada uma garantia razoável para a avaliação do efeito na drenagem pluvial, foram nulos no caso dos lotes com padrão de habitação classe alta (caso com menor demanda unitária) e pouco significativos para os lotes com padrão de habitação popular (caso com maior demanda unitária), indicando que para esta permanência os reservatórios estão cheios ou muito próximos a este estado.

Com a desconsideração do amortecimento da propagação da vazão nos reservatórios, estes tiveram apenas a capacidade de reter uma parcela inicial da precipitação. As retenções, que são oriundas dos volumes de espera, foram convertidas em lâmina de precipitação retida, onde a maior retenção foi de 4mm para o padrão de habitação popular, com atendimento de 80% da demanda e para a permanência do volume de espera de 75%. Já para a permanência de 90% foi estimada uma retenção de apenas 1,2mm. Assim, pode-se verificar uma diminuta capacidade de retenção da água pluvial ao realizar aproveitamento de água de chuva.

Esta reduzida significância da capacidade de retenção é também exacerbada quando comparada com os volumes de detenção exigidos pelo decreto municipal 15.371/2006 de Porto Alegre ficando este valor abaixo de 1% do volume necessário para o cenário com maior volume de espera (lote padrão popular, NA=80% e CP=75%).

Apesar de estes resultados intermediários (volumes de retenção/espera) indicarem um pequeno efeito dos sistemas de aproveitamento de água da chuva na vazão da rede pluvial, foram realizadas simulações hidrológicas-hidráulicas para verificar em nível de loteamento, se o pico de vazão do hidrograma sofre alguma redução, devido estas retenções iniciais causadas pelos reservatórios de água de chuva, ao serem propagadas, em bacias hipotéticas com 10 e 25ha, as vazões efluentes dos lotes residenciais. As áreas adotadas para as bacias são compatíveis com as áreas de loteamentos residências tradicionalmente empreendidos no município de Porto Alegre.

As simulações hidrológica-hidráulicas foram realizadas para hidrogramas de projeto com 2 e 5 anos de período de retorno, visto que em um exame inicial, com a simulação para hidrogramas com 10 anos de período de retorno, verificou-se uma grande desproporção entre a capacidade de retenção dos reservatórios de água de chuva e os volumes dos hidrogramas, sendo descartado este cenário, indicando a ineficácia na redução de vazão na macro-drenagem.

A fim de verificar a alteração nas vazões para macro-drenagem de uma bacia urbana adotou-se na simulação hidráulica o tempo de duração da chuva de projeto igual ao tempo de concentração equivalente ao das bacias urbanas de Porto Alegre (1h).

Os resultados das simulações de vazão nos exutórios das bacias apontaram para uma incapacidade de redução do pico de vazão pela utilização de aproveitamento de água de chuva, sendo observados apenas descontos parciais no início dos hidrograma.

A ineficiência em redução do pico de vazão na rede pluvial, para as características pluviométricas, de consumo e hidrológicas das bacias urbanas de Porto Alegre pode ser explicada pelo próprio propósito do aproveitamento de água de chuva que é o de apenas atender à demanda de água, não garantindo volumes de espera suficientes para causar tal efeito no pico de vazão da rede pluvial. No entanto, é possível que, eventualmente, ocorram reduções no pico de vazão, porém, sem garantia, o

que não confere aos sistemas de aproveitamento de água de chuva credibilidade, invalidando-os como dispositivos efetivos e tendo apenas um papel incerto e residual na redução de alagamentos urbanos.

As simulações das bacias com diferentes áreas (10 e 25ha) de contribuição não apresentaram efeito se escala, sendo as pequenas variações observadas referentes à variabilidade aleatória das séries sintéticas utilizadas. Avançar a avaliação para bacias maiores, inevitavelmente apresentará uma capacidade de retenção menor ainda, pois para uma bacia com padrões de habitação heterogêneos, existirão mais áreas de drenagem direta, como: pátios de lotes industriais e comerciais, vazios urbanos e vias mais largas (arteriais).

6 Recomendações para Trabalhos Complementares

As recomendações para trabalhos complementares serão aqui apresentados em forma de itens, obedecendo ao ordenamento dos 2 blocos de assuntos abordados no presente trabalho.

Ábacos de dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva

- O método de dimensionamento foi aplicado produzindo os ábacos de dimensionamento para as capitais estaduais brasileiras, no entanto a distribuição espacial das capitais não representa variabilidade dos regimes de chuva em todo o território brasileiro, assim a geração de ábacos para postos pluviométricos com uma distribuição, que represente adequadamente a variabilidade espacial climática brasileira, é indicada para viabilizar uma eventual regionalização dos ábacos de dimensionamento.
- A busca, realizada neste trabalho, por equações com capacidade de ajustarem-se adequadamente às curvas dos ábacos de dimensionamento não foi exaustiva, assim recomenda-se dar progresso a esta busca, testando-se outras equações, ou, até mesmo, desenvolvendo-se uma rede neural com interface para usuários.
- Verificar se os ábacos sofrem alteração ao utilizar dados de consumos variáveis no tempo. Configurando uma alternativa para aproximar os índices de desempenho fornecidos pelos ábacos com os valores reais, e ao mesmo verificar se os ábacos gerados com consumos variáveis. Para tanto é necessário ter em mãos dados medidos dos consumos detalhados para os pontos de consumo, com representatividade do tamanho amostral para os padrões de habitação e, também, com representatividade temporal.
- Obter, com base nos custos locais de material e mão de obra, faixas ótimas de dimensionamento dos reservatórios para aproveitamento de água de chuva para o retorno do investimento financeiro, indicando qual o nível de atendimento deve ser buscado em função da demanda unitária.

Efeito na vazão da rede pluvial

- Visto que a demanda unitária foi um fator de grande influência no comportamento da curva de permanência do volume de espera nos reservatórios, recomenda-se a aplicação da mesma metodologia de avaliação do efeito na vazão da rede de drenagem para edificações com múltiplos pavimentos, onde tem-se maiores demandas unitárias e, também, uma viabilidade maior para construção de reservatórios de grande capacidade (a viabilidade se dá pela disponibilidade de espaço para o reservatório e pelo rateio de custos).
- A simulação contínua, com séries de dados de chuva e de consumo com tempo de discretização compatíveis com os tempos necessários para a propagação e vazões em redes pluviais, seria a forma mais próxima à realidade de avaliação do efeito do aproveitamento de água de chuva na drenagem de bacias urbanas. Assim, monitorar e obter dados com extensão temporal suficiente para que a condição inicial de simulação (reservatório vazio) e eventos extremos sejam registrados é uma recomendação pertinente para obterem-se conclusões mais bem fundamentadas para esta questão.
- Estimar para premissas e cenários, da mesma forma realizada neste trabalho, que redução pode ser feita aos volumes de reservatório de detenção em lote ao ser considerando o volume retido pelo volume de espera disponível em reservatórios de aproveitamento de chuva a fim de limitar a vazão lançada à rede pluvial aos níveis de pré-urbanização como versam a maioria dos decretos municipais que regulamentam a geração de escoamento pluvial em lotes.
- A fim de verificar o efeito na drenagem pluvial em outros regimes de chuva, é indicado ajustar a metodologia para regiões com forte sazonalidade pluviométrica onde a curva de permanência do volume de espera não é constante ao longo do ano hidrológico, buscando avaliar o comportamento para o período crítico, chuvas intensas e pequenos volumes de espera, bem como incorporar os padrões de consumo característicos do local em avaliação.

7 Referências Bibliográficas

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15527: “Água de Chuva- Aproveitamento de áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos” - Rio de Janeiro, outubro de 2007, 8 p.

ANA, Agência Nacional de Águas do Brasil, Superintendência de Conservação de Água e Solo, Conservação e Reúso da água em Edificação, Editora Prol, São Paulo/SP – Brasil, p. 151 2005.

ANA, Agência Nacional de Águas do Brasil, Superintendência de Usos Múltiplos – Convivência com as Secas, 2010.

Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/UsosMultiplos/seca.asp>

Acessado em: 20/07/2010.

Baena, L. G. N.; Pruski, F. F.; Moreira, M. C.; Souza V. B. C.; Zanetti, S. S.; Oliveira V. P. S., Nota Técnica: Programa computacional para geração de séries sintéticas de dados climáticos, Engenharia na Agricultura. Viçosa, MG. v.13, n.3, 210-210 220, Jul/Set 2005.

Barth, F. T., Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. Coleção RBRH, Vol.1, 1987,

Bellen, H. M. van, Indicadores de Sustentabilidade: uma Análise Comparativa – Editora FGV – Rio de Janeiro – Brasil, p. 256, 2005.

Campo, J. D.; Neto, J. R., Captação de Água de Chuva em Lajeado de Pedra e Armazenamento em Cisterna de Placa: uma Alternativa para Evitar a Evaporação, IV Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Petrolina/PE – Brasil, 2003.

Campos, M. A. S., Aproveitamento de Água Pluvial em Edifícios Residenciais Multifamiliares na Cidade de São Carlos, Dissertação (mestrado), Universidade Federal de São Carlos, p. 144, 2004.

Chilton, J. C.; Maidment, G. G.; MArriott, D.; Francis, A.; Tobias, G., Case Study of a Rainwater Recovery Sytem in a Commercial Building with Large Roof, Urban Water, N° 1, p. 345-354, 1999.

Clarke, R.; King, J., O Atlas da Água, Editora Publifolha, São Paulo/SP, p. 128, 2005.

Cunliffe, D. A., Guidance on the use of rainwater tanks – National Environmental Health Forum Monographs, Water Series N°3, Autralia, 1998.

Chow, V. T., Handbook of Hydrology. New York: McGraw-Hill, 1964

Dacach, N. G., Sistemas Urbanos de Água - LTC - Livros Técnicos e Científicos, 490p. 1979.

Dias, D. M.; Martines, C. B.; Libânio, M., Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água – Eng. Sanit. e Ambient, V.15 nº2 – abri/jun 2010 – pag155-166.

DMAE (Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre), Decreto 9369/88, Município de Porto Alegre/RS, 1988.

Dornelles, F.; Tassi, R.; Goldenfum, J. A., Avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva – RBRH (Revista Brasileira de Recursos Hídricos), Volume, 15 - nº 2 - Abr/Jun, 2010.

Dornelles, F.; Tassi, R.; Goldenfum, J. A., Metodologia para ajuste do fator de esgoto/água para aproveitamento de água de chuva – RBRH (Revista Brasileira de Recursos Hídricos), Volume, 17 - nº 2 - Abr/Jun, 2012.

Dziegielewski, B.; Opitz, E. M.; Kiefer, J. C.; Maidment, D., Evaluation Urban Water Conservation Programs: a Procedure Manul, Denver: AWW, 238p., 1993,

Evangelista, A. W. P.; Ferreira, P. A.; Pruski, F. F.; Sedyama, G. C., Avaliação do desempenho do modelo CLIGEN em gerar dados climáticos para modelos hidrológicos e agronômicos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.10, n.1, p.119–127, 2006.

Fair, M. G.; Geyer, J. C.; Okun, D. A., Water and Wastewater Engineering – John Wiley and Sons. Inc. – Vol 1 – Wiley International Edition, 1966.

Filho, J. M. C.; Moreira, L. F. F., Análise do Desempenho de Reservatório de Água de Chuva no Suprimento Domiciliar e Controle de Escoamento nas Cidades de Natal e Caicó. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa/PB - Brasil, 2005.

Genovez, A. M., Vazões Máximas. In: Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas, Paiva, J. B. D. e Paiva, E. M. C. D, organizadores. ABRH, 2001.

Garcia, J. I. B; Paiva, E. M. C. D., Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbans da Bacia do Arroio Cancela – RS – RBRH (Revista Brasileira de Recursos Hídricos), Volume 11 - nº 4 - Out/Dez, 2006.

Haan, C. T., Statistical Methods in hidrology, Iowa State University Press / Ames, 1ª Ed., p.378, 1977.

Hari J.; Krishna, P. E., The Texas Manual on Rainwater Harvesting, Texas Water Development Board, ed.3ª, Austin/Texas – Estados Unidos, 2005.

Heller, L.; Pádua, V. L., Abastecimento de água para consumo humano - Coleção Ingenium, Editora UFMG, 1ª Ed., 859p, 2006.

Herrmann T.; Schmida, U., Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects, Urban Water, N° 1, p. 307-316, 1999.

Kalos, H. M.; Whitlock, P. A., Monte Carlo Methods, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, KGaA, Winheim, 2ªed. 2008.

Kilsby C. G.; Jones, P. D.; Burton A.; Ford A. C.; Fowler, H. J.; Harpham C.; James P.; Smith A.; Wilby R, L., A daily weather generator for use in climate change studies, Environmental Modelling & Software, Vol. 22, p. 1705-1719, 2007.

Kobiyama, M.; Tsuyoshi, U.; Anjos Afonso, M. (organizadores da tradução),Aproveitamento de água de chuva – Ed. Organic Trading, 1ª edição, 196p – Curitiba/PR – Brasil, 2002.

Krishna, H. J.; Philips, A. e Pope, T., Rainwater Harvesting and Stormwater Recycling. ASLA (American Society Landscape Architects) Annual Meeting, 2002.

LaBranche, A.; Wack, H.; Crawford, D.; Crawford, D.; Sojka, N. J. e Brand, C., Virginia Rainwater Harvesting Manual – The Cabell Brand Center, Virginia/EUA, 2007.

Lilliefors, H. W., On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown, Journal of the American Statistical Association, 62, 399–402, 1967.

Mano, R. S., A Captação Residencial de Água de Chuva Para Fins Não Potáveis em Porto Alegre: Aspectos Básicos de Viabilidade e Benefícios do Sistema, Dissertação (mestrado), Pós-graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 117, 2004.

Matos, J. C. C. T., Proposição de Método para Definição de Cotas Per Capita Mínimas de Água para Consumo Humano, Dissertação de Mestrado, UNB Faculdade de Tecnologia Departamento de Eng, Civil, 2007.

May, S., Estudo da Viabilidade Aproveitamento de Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações, Dissertação (mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 189, 2004.

Mays, L. W., Water Resources Handbook, New York: MacGraw-Hill, 1996.

Macintyre, A. J., Instalações hidráulicas, Brasil: Guanabara Dois, p,770, 1982.

Matala, A., Sample Size Requirement for Monte Carlo – simulation using Latin Hypercube Sampling, Helsinki University of Technology Department of Engineering Physics and Mathematics Systems Analysis Laboratory, 2008.

Disponível em: <http://www.sal.tkk.fi/publications/pdf-files/emat08.pdf>

McHarg, I. L., Design with Nature, Garden City: The American Museum of Natural History, p. 197, 2ª edição, 1971.

Melo, V. O.; Neto, A. J. M., Instalações prediais hidráulico-sanitárias, São Paulo: Edgard Blucher, 185p, 1988.

Metcalf & Eddy, Waster Engineering, Cingapura: MacGraw-Hill, 3ª edição, p.1334, 1991.

Metropolis, N., The Beginning of the Monte Carlo Method, Los Alamos - Special Issue p.125-130, 1987.

Mierzwa, J. C.; Hespanhol, I.; Silva, M. C. C.; Rodrigues, L. B.; Água Pluviais: Método de Cálculo do Reservatório e Conceitos para um Aproveitamento Adequado, REGA: Revista de Gestão de Água da América Latina, V. 4, n. 1, p. 29-37, 2007.

MMA, Ministério do Meio Ambiente do Brasil – Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental – Agenda 21, 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br> - Acessado em: 19/07/2010.

Naghetini, M.; Pinto, E. J. A., Hidrologia Estatística – Belo Horizonte: CPRM, 2007.

Netto, A. J. M.; Martins, J. A.; Puppi, I. C.; Netto, F. B.; Franco, P. N. C., Planejamento de Sistemas de Abastecimento de Água – Universidade Federal do Paraná e Organização Pan-americana da Saúde - Editora Livraria Kosmos, 282p., 1973.

Nicks, A. D.; Lane, L. J.; Gander, G. A., Weather Generator, In: Flanagan, D, C.; Nearing, M, A, USDA-Water erosion prediction project (WEPP), West Lafayette: USDA/ARS, cap. 2, p.2, 1-2.22 1995.

Nucci, N. L. R., Avaliação da Demanda Urbana de Água, Aspectos Econômicos e Urbanísticos, A área Edificada como Possível Variável Explicativa e Prospectiva, Revista DAE, 44(135), p. 22-29, 1983.

OECD, Organisation for Economic Co-Operation and Development, Report: Pricing Water Resources and Water and Sanitation Services, Paris – France, 2010.

Oliveira, V. P. S., Modelo para geração de séries sintéticas de precipitação, 2003, 156 f, Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Ambientais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2003.

Pedron, I. T.; Klosowski, E. S., Distribuição de frequência de chuvas diárias no Estado do Paraná, Revista Scientia Agraria Paranaensis, UNIOESTE-Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Vol. 7, Nº 1 e 2. 2008.

Pompêo, C. A., Drenagem Urbana Sustentável, RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, V. 5, n. 1, p. 15-23, 2000.

Porto, R. L., Escoamento Superficial Direto, In: Drenagem Urbana, Porto Alegre: Ed. Da Universidade: RBRH – 1995.

Press, W. H.; Teukolsky, S. A.; Vetterling, W. T.; Flannery, B. P., Numerical Recipes in Fortran – The Art of Scientific Computing, 2ª ed. 1992.

Qasim, S. R., Wasterwater Treatment Plants. USA: Lancaster, Technomic Publishing, p.726,1994.

Raudkivi, A. J., Hydrology: an advanced introduction to hydrological processes and modeling, Ed, Pergamon Press – University of Auckland, New Zealand, 1979.

Rocha, A. L., Reduction in domestic water consumption through the use of low volume flush toilet. In Proceedings of the 1993 CIB/W62 International Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Depto. de Engenharia Civil, Secção de Construções Civas, 1993.

Rossmann, L. A., Storm Water Management Model: User's Manual – Version 5. U.S. Enviromental Protection Agency, 2004.

Santos, C. C.; Filho, A. J. P.; Ginez, W., Características do consumo de água na região metropolitana de São Paulo e os impactos do tempo e do clima, Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis/SC, 2006.

Santos, M. A., Utilização da água na indústria-inquérito na Bacia Hidrográfica do Rio Ave, LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) Informação técnica hidráulica ITH – 14, Lisboa, p.76, 1984.

Shaaban, A. J. B.; e Appan, A., Utilising Rainwater for Non-potable Domestic Uses and Reducing Peak Urban Runoff in Malaysia. 11th International Rainwater Catchment Systems Conference - Texcoco, Mexico - August, 2003.

Siegerstetter, L., Synthetic series produced by means of probability analysis as applied to the river Rhine, Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology, Vol, XVI, Nº 3 1971,

Silva, A. R. V.; Tassi, R., Dimensionamento e Simulação do Comportamento de um Reservatório para Aproveitamento de Água de Chuva: Resultados Preliminares, XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa/PB - Brasil, 2005.

Silveira, A. L. L., Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais, RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, V. 10, n. 1, Jan/Març, 5-23, 2005.

Stark, T; Pusahrd, D., The State of Rainwater Harvesting in the U,S, On Tap – National Environmental Services Center, Fall 2008 – Volume 8 – Issue 3.

Tassi, R., Efeito do Microrresvatórios de Lote sobre a Macrodrenagem Urbana – Dissertação de Mestrado, IPH/UFRGS – 2002.

TCEQ, Texas Coommission on Environmental Quality, Harvesting, Storing, and Treating Rainwater for Domestic Indoor Use, Austin/Texas – Estado Unidos, 2007.

Tomaz, P., Conservação da Água, cap, 8 – Aproveitamento de água de chuva para fins não-potáveis em áreas urbanas – Guarulhos/SP – Brasil, 1997.

Tomaz, P., Previsão de Consumo de Água - Interface das Instalações Prediais de Água e Esgoto com os Serviços Público. São Paulo, Navegar Editora. 250p., 2000.

Tomaz, P., Aproveitamento de Água de Chuva: para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo, Ed. Navegar, 2ª Edição, 180 p., 2003.

Tomaz, P., Previsão de consumo de água em gramados, Versão Digital, 243p. 2007.

Disponível em: http://www.infinitygs.com.br/livros/livro6_previsao_consumo.pdf

Acessado em: 14/01/2011.

Twort, A. C., Ratnayaka, D, D, Brandt, M, J., Water Suplly, 5ª Edição, Arnald and IWA Publishing, Londres,UK, 2000.

Tucci, C. E. M., Inundações Urbanas. Coleção ABRH V, 11, Porto Alegre/RS – Brasil, 2007.

Tucci, C. E. M., Hidrologia: Ciência e Aplicação. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH, 1993.

UNEP, United Nations Environment Programme - Rainwater Harvesting and Utilisation, An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management: An Introductory Guide for Decision-Makers, Water and Sanitation – Publications, 2002.

Disponível em: <http://www.unep.or.jp> – Acessado em: 20/07/2010.

URBONAS, B.; STAHERE, P., 1993, Stormwater Best Management Practices and Detetion. PrenticeHall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p.

Vaes, G.; Berlamont, J., The Effect of Rainwater Storage Tanks on Design Storms, Urban Water, N° 3, p. 303-307, 2001.

Villarreal, E. D.; Dixon, A., Analysis of a Rainwater Collection System for Domestic Water Supply in Ringdasen, Norrköping, Sweden, Building and Environment.

Ward, S., Rainwater Harvesting in the UK - Current Practice and Future Trends. Young Scientists Workshop, Amsterdam, Netherlands, April 2007.

Waterfall, P. H., Harvesting Rainwater for Landscape Use, University Arizona Cooperative, 1998. Disponível em: <http://www.azwater.gov> – Acessado em: 20/07/2010.

WCED, World Commission on Environment and Development - Our common Future, Oxford: Oxford University Press, 1987.

WILKS, D. S., Simultaneous stochastic simulation of daily precipitation, temperature and solar radiation at multiple sites in complex terrain. Agricultural and Forest Meteorology. Amsterdam, Vol.96, n.1-3, p.85-101, 1999.

Zaizen, M.; Urakawa, T.; Matsumoto, Y.; Takai, H., The Collection of Rainwater from Dome Stadiums in Japan. Urban Water, Nº 1, p. 355-359, 1999.

Zhang, Y.; Chein, D.; Chein, L.; Ashbolt, S., Potential for Rainwater Use in High-rise Buildings in Australian Cities, Journal of Environmental Management, Nº 91, p. 222-226, 2009.

ANEXO 1 – Demandas para consumos de água

Discriminação	Unidades	Valores	Origem
Abate de animais	L/dia/empregado	2,733	Santo, 1984
Abatedouro de gado	L/dia/cabeça	40 a 50	Qasim, 1994
Acampamento	L/dia/pessoa	113	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Acampamento	L/dia/pessoa	133	Qasim, 1994
Acampamento comum	L/dia/pessoa	113	Metcalf & Eddy 1991
Acampamento de férias	L/dia/pessoa	190	Qasim, 1994
Acampamento de trailer	L/dia/trailer	473	Metcalf & Eddy, 1991
Acampamento sem comida	L/dia/pessoa	49	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Aciarias	L/kg	250 a 450	Melo e Neto, 1988
Aço	m ³ /ton	260 a 300	Qasim, 1994
Açúcar, usinas	L/kg	100	Melo e Neto, 1988
Administração de justice, Ordem Pública e Segurança	L/dia/empregado	68	Dziegielewski, 1996 in Mays
Administração da qualidade do meio Ambiente e Moradia	L/dia/empregado	382	Dziegielewski, 1996 in Mays
Administração de Programas Econômicos	L/dia/empregado	1,036	Dziegielewski, 1996 in Mays
Administração de Recursos Humanos	L/dia/empregado	329	Dziegielewski, 1996 in Mays
Administração Pública	L/dia/empregado	313	Dziegielewski, et al, 1993
Administração Pública do executivo, legislativo e geral	L/dia/empregado	586	Dziegielewski, 1996 in Mays
Administração de Segurança Nacional e Assuntos Internacionais	L/dia/empregado	45	Dziegielewski, 1996 in Mays
Aeronaves e peças	L/dia/empregado	184	Dziegielewski, et al, 1993
Aeroporto	L/dia/passageiro	11	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Aeroporto	L/dia/passageiro	11	Metcalf & Eddy, 1991
Aeroporto	L/dia/passageiro	10	Qasim, 1994
Aeroporto, por passageiros	L/dia/passageiro	12	Melo e Neto, 1988
Agências de crédito	L/dia/empregado	394	Dziegielewski, et al, 1993
Agências de negócios	L/dia/empregado	401	Dziegielewski, et al, 1993
Alcool, destilarias, litro	L/L	20 a 30	Melo e Neto, 1988
Alojamento provisório de obra	L/dia/per capita	80	Macintyre, 1982
Alojamento de operários	L/dia/pessoa	151	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Alojamento de verão	L/dia/pessoa	190	Qasim, 1994
Alojamentos provisórios	L/dia/pessoa	80	Melo e Neto, 1988
Ambulatórios	L/dia/per capita	25	Macintyre, 1982
Aparelhos elétricos	L/dia/empregado	102	Dziegielewski, et al, 1993
Apartamento	L/dia/per capita	200	Macintyre, 1982
Apartamento	L/dia/pessoa	378	Metcalf & Eddy, 1991
Apartamento	L/dia/pessoa	230	Qasim, 1994
Apartamento de férias	L/dia/pessoa	227	Metcalf & Eddy, 1991
Apartamento de férias	L/dia/pessoa	227	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Apartamento de luxo	L/dia/quarto de empregada	200	Macintyre, 1982
Apartamento de zelador	L/dia/per capita	600 a 1,000	Macintyre, 1982
Apartamento de luxo	L/dia/dormitório	300 a 400	Macintyre, 1982

Apartamentos e residências	L/dia/per capita	200	DMAE, Porto Alegre 1988
Área de boliche	L/dia/pista	756	Metcalf & Eddy, 1991
Asilo	L/dia/residente	340	Metcalf & Eddy, 1991
Asilo	L/dia/empregado	38	Metcalf & Eddy, 1991
Associação de pessoas	L/dia/empregado	801	Dziegielewski, 1996 in Mays
Auditórios	L/dia/assento	11	Metcalf & Eddy, 1991
Autos e motos	L/dia/empregado	703	Dziegielewski, et al, 1993
Bancos	L/dia/empregado	170	Dziegielewski, et al, 1993
Banheiros públicos	L/dia/usuário	19	Metcalf & Eddy, 1991
Bar	L/dia/cliente	11	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Bar	L/dia/empregado	49	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Bar	L/dia/cliente	8	Qasim, 1994
Bar	L/dia/empregado	50	Qasim, 1994
Barbearia	L/dia/cadeira	210	Qasim, 1994
Barbearia	L/dia/empregado	1,437	Army Institute for Water Resources 1987 apud Tomaz 2000
Bares	L/dia/m ²	40	Melo e Neto, 1988
Borracha (indústria)	L/dia/empregado	5,250	CESL 1981 apud Santos 1984
Borracha (indústria)	L/dia/empregado	4,967	Santos, 1984
Borracha e miscelânea de produtos plásticos (indústria)	L/dia/empregado	450	Dziegielewski, 1996 in Mays
Borracha e produtos plásticos	L/dia/empregado	212	Dziegielewski, et al, 1993
Cabine de férias	L/dia/empregado	151	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Cafeteria	L/dia/cliente	8	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Cafeteria	L/dia/empregado	38	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Cafeteria	L/dia/cliente	6	Qasim, 1994
Cafeteria	L/dia/empregado	40	Qasim, 1994
Caixa de papelão	L/dia/empregado	290	Dziegielewski, et al, 1993
Camping	L/dia/frequentedor	70 a 100	Melo e Neto, 1988
Canteiro de Obras	L/dia/operário	60 a 100	Melo e Neto, 1988
Carne industrializada	m ³ /ton	13,6	Metcalf & Eddy, 1991
Casa de descanso	L/dia/residente	321	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Casa de descanso	L/dia/leito	380	Qasim, 1994
Cavalariças	L/dia/cavalo	100	Macintyre, 1982
Centro de convenções	L/assento	8	Melo e Neto, 1988
Centro de convenções	L/dia/visitante	19	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Cerveja	L/L	15 a 25	Melo e Neto, 1988
Cerveja	m ³ /ton	9	Metcalf & Eddy, 1991
Chocolates	L/dia/empregado	93	Portugal, LNEC 1984 apud Tomaz 2000
Cimento (indústria)	L/dia/empregado	5,250	CESL 1981 apud Santos 1984
Cimento (indústria)	L/dia/empregado	22,803	Santos, 1984
Cinema	L/dia/empregado	416	Dziegielewski, 1996 in Mays
Cinema	L/dia/assento	11	Metcalf & Eddy, 1991
Cinema	L/dia/assento	8	Qasim, 1994
Cinemas	L/dia/lugar	2 a 10	Melo e Neto, 1988
Cinemas e teatros	L/dia/lugar	2	Macintyre, 1982
Cinemas, teatros e templos	L/dia/lugar	2	DMAE, Porto Alegre 1988
Comércio de comida	L/dia/empregado	590	Dziegielewski, 1996 in Mays
Comércio no varejo de loja e venda de automóveis e postos de gasolina	L/dia/empregado	185	Dziegielewski, 1996 in Mays
Comércio no varejo de	L/dia/empregado	159	Dziegielewski, 1996 in Mays

móveis e loja de móveis para residências			
Comércio no varejo de vestuário e lojas de acessórios	L/dia/empregado	257	Dziegielewski, 1996 in Mays
Comércio no varejo de miscelânea	L/dia/empregado	499	Dziegielewski, 1996 in Mays
Comércio, áreas	L/dia/m ²	1 a 3	Melo e Neto, 1988
Comércio em geral	L/dia/empregado	178	Army Institute for Water Resources 1987 apud Tomaz 2000
Comida e produtos similares (indústria)	L/dia/empregado	1773	Dziegielewski, 1996 in Mays
Confeitaria	L/dia/empregado	694	Santos, 1984
Conservação de peixes	L/dia/empregado	1,188	Santos, 1984
Conservas	L/kg	10 a 50	Melo e Neto, 1988
Construções em geral	L/dia/empregado	117	Dziegielewski, 1996 in Mays
Construções especiais de comércio	L/dia/empregado	95	Dziegielewski, 1996 in Mays
Construções pesadas	L/dia/empregado	446	Dziegielewski, 1996 in Mays
Consultoria em geral	L/dia/empregado	897	Dziegielewski, et al, 1993
Country Club	L/dia/membros presentes	378	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Country Club	L/dia/empregado	49	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Country Club – não residentes	L/dia/membro	95	Qasim, 1994
Country Club – residentes	L/dia/membro	380	Qasim, 1994
Couro e outros produtos de couro (indústria)	L/dia/empregado	359	Dziegielewski, 1996 in Mays
Creches	L/dia/criança	60 a 80	Melo e Neto, 1988
Creches	L/dia/per capita	50	Macintyre, 1982
Creches	L/dia/per capita	50	SABESP, 1983
Curtume	L/kg	50 a 60	Melo e Neto, 1988
Curtume	m ³ /ton de carne	60 a 70	Qasim, 1994
Curtume (indústria)	L/dia/empregado	800	CESL 1981 apud Santos 1984
Curtume (indústria)	L/dia/empregado	7,600	Santos, 1984
Depósitos	L/dia/m ²	2	Hoddinot 1981 apud Tomaz 2000
Destilação de aguardente	L/dia/empregado	285	Santos, 1984
Dispositivos de medida e controle	L/dia/empregado	125	Dziegielewski, et al, 1993
Distritos industriais	L/dia/m ²	4 a 8	Melo e Neto, 1988
Dormitório com beliches	L/dia/pessoa	132	Metcalf & Eddy, 1991
Drive-in	L/dia/espaco de carro	19	Qasim, 1994
Drogas	L/dia/empregado	346	Dziegielewski, et al, 1993
Edifício de escritório	L/dia/empregado	65	Qasim, 1994
Edifício de escritórios	L/dia/ocupante efetivo	50 a 80	Macintyre, 1982
Edifício industrial	L/dia/empregado	55	Qasim, 1994
Edifícios de escritórios	L/dia/m ²	4	Hoddinot 1981 apud Tomaz 2000
Edifícios financeiros	L/dia/m ²	4	Hoddinot 1981 apud Tomaz 2000
Edifícios médicos	L/dia/m ²	7	Hoddinot 1981 apud Tomaz 2000
Enlatados de grãos verdes	m ³ /ton	4,5	Metcalf & Eddy, 1991
Enlatados de outras frutas	m ³ /ton	3,6	Metcalf & Eddy, 1991
Enlatados de pêssegos e peras	m ³ /ton	13,6	Metcalf & Eddy, 1991
Enlatados de conservas	m ³ /ton	30 a 60	Qasim, 1994

Equipamentos de comunicação	L/dia/empregado	151	Dziegielewski, et al, 1993
Escola com cafeteria, ginásio e chuveiros	L/dia/estudante	95	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Escola com cafeteria, ginásio e chuveiros	L/dia/estudante	57	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Escola com cafeteria, ginásio e chuveiros	L/dia/estudante	42	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Escola-internato	L/dia/estudante	284	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Escolas	L/dia/empregado	740	Dziegielewski, et al, 1993
Escola	L/dia/aluno	57	Metcalf & Eddy, 1991
Escolas (de um turno)	L/dia/aluno	10 a 30	Melo e Neto, 1988
Escolas e serv, Educacionais	L/dia/empregado	615	Dziegielewski, et al, 1993
Escola e universidades	L/dia/empregado	210	Army Institute for Water Resources 1987 apud Tomaz 2000
Escolas, externatos	L/dia/aluno	50	Macintyre, 1982
Escola, internatos	L/dia/per capita	150	Macintyre, 1982
Escolas, semi-internatos	L/dia/aluno	100	Macintyre, 1982
Escola, externatos	L/dia/per capita	50	DMAE, Porto Alegre 1988
Escola, externatos	L/dia/per capita	50	SABESP, 1983
Escola, externatos	L/dia/estudante	76	Qasim, 1994
Escola, internatos	L/dia/estudante	300	Qasim, 1994
Escola, internatos	L/dia/per capita	200	DMAE, Porto Alegre 1988
Escola, internatos e creches	L/dia/per capita	100	DMAE, Porto Alegre 1988
Escritório	L/dia/empregado	49	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Escritório	L/dia/funcionário	57	Metcalf & Eddy, 1991
Escritório e lojas	L/dia/funcionário	50	DMAE, Porto Alegre 1988
Escritórios	L/dia/per capita	10	Melo e Neto, 1988
Escritórios	L/dia/ocupante efetivo	30 a 50	Melo e Neto, 1988
Escritório	L/dia/banheiro	200	SABESP, 1983
Estabelecimentos de banhos ou saunas	L/dia/pessoa/banho	300	DMAE, Porto Alegre 1988
Estabelecimentos comerciais	L/dia/m ²	6 a 10	Melo e Neto, 1988
Estação ferroviária e rodoviária	L/dia/passageiro	15 a 40	Melo e Neto, 1988
Estacionamento de trailers	L/dia/pessoa	150	Qasim, 1994
Estações de serviços e reparações	L/dia/empregado	205	Santos, 1984
Estamparia de metais	L/dia/empregado	437	Dziegielewski, et al, 1993
Fábrica de chuveiros	L/dia/empregado	133	Qasim, 1994
Fábrica de empacotamento de carnes	m ³ /ton	15 a 25	Qasim, 1994
Fábrica de laticínios	m ³ /ton	2 a 3	Qasim, 1994
Fábrica de papel	L/dia/empregado	5,157	Dziegielewski, et al, 1993
Fábrica de telas impermeáveis	m ³ /dia/empregado	11,6	Santos, 1984
Fábrica sem chuveiros	L/dia/empregado	95	Qasim, 1994
Fabricação de miscelânea de produtos	L/dia/empregado	136	Dziegielewski, 1996 in Mays
Fabricação de produtos de metias	L/dia/empregado	733	Dziegielewski, 1996 in Mays
Fabricantes diversos	L/dia/empregado	130	Dziegielewski, et al, 1993
Fábricas	L/dia/m ²	3	Hoddinot 1981 apud Tomaz 2000

Fábricas (uso pessoal)	L/dia/operário	70 a 80	Macintyre, 1982
Fábricas com restaurantes	L/dia/operário	100	Macintyre, 1982
Fábricas (excluído o processo industrial)	L/dia/empregado	50	DMAE, Porto Alegre 1988
Fundição de produtos não ferrosos	L/dia/empregado	186	Dziegielewski, et al, 1993
Galinhas, granjas	L/dia/100 galinhas	30 a 40	Qasim, 1994
Garagens e postos de serviços para automóveis	L/dia/automóvel	100	Macintyre, 1982
Garagens e postos de serviços para automóveis	L/dia/caminhão	150	Macintyre, 1982
Garagens para estacionamento de veículos	L/dia/veículo	25	DMAE, Porto Alegre 1988
Gráfica	L/dia/empregado	130	Dziegielewski, et al, 1993
Hospedaria	L/dia/hóspede	151	Metcalf & Eddy, 1991
Hospício	L/dia/leito	454	Metcalf & Eddy, 1991
Hospitais	L/dia/empregado	311	Army Institute for Water Resources 1987 apud Tomaz 2000
Hospitais	L/dia/leito	250	DMAE, Porto Alegre 1988
Hospitais	L/dia/empregado	249	Dziegielewski, et al, 1993
Hospitais	L/dia/leito	567	Metcalf & Eddy, 1991
Hospitais	L/dia/funcionário	38	Metcalf & Eddy, 1991
Hospitais	L/dia/leito	250	SABESP, 1983
Hospitais e casas de saúde	L/dia/leito	250	Macintyre, 1982
Hospital	L/dia/leito	300 a 600	Melo e Neto, 1988
Hospital	L/dia/leito	950	Qasim, 1994
Hospital de doenças mentais	L/dia/leito	378	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Hospital de doenças mentais	L/dia/empregado	38	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Hospital médico	L/dia/leito	624	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Hospital médico	L/dia/empregado	38	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Hotéis	L/dia/hóspede	250 a 350	Macintyre, 1982
Hotéis (s/ cozinha e s/ lavanderias)	L/dia/hóspede	120	SABESP, 1983
Hotéis com cozinha e lavanderias	L/dia/hóspede	250 a 350	Macintyre, 1982
Hotéis e aposentos temporários	L/dia/empregado	869	Dziegielewski, 1996 in Mays
Hotéis e motéis	L/dia/m ²	11	Hoddinot 1981 apud Tomaz 2000
Hotéis e motéis	L/dia/hóspede	200	DMAE, Porto Alegre 1988
Hotéis e restaurantes	L/dia/empregado	705	Army Institute for Water Resources 1987 apud Tomaz 2000
Hotéis sem cozinha e lavanderia	L/dia/hóspede	120	Macintyre, 1982
Hotel	L/dia/cliente	181	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Hotel	L/dia/empregado	38	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Hotel	L/dia/hóspede	189	Metcalf & Eddy, 1991
Hotel	L/dia/funcionário	38	Metcalf & Eddy, 1991
Hotel com cozinha	L/dia/hóspede	151	Metcalf & Eddy, 1991
Hotel de férias	L/dia/pessoa	189	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Hotel, motel	L/dia/quarto	380	Qasim, 1994
Igrejas	L/dia/lugar	2	Macintyre, 1982
Igrejas e templos	L/dia/freqüentador	2	Melo e Neto, 1988
Imobiliária	L/dia/empregado	450	Dziegielewski, et al, 1993

Impressão de papel e editoração (indústria)	L/dia/empregado	140	Dziegielewski, 1996 in Mays
Indústria de instrumentos e produtos correlatos	L/dia/empregado	249	Dziegielewski, 1996 in Mays
Indústria de madeira serrada e outros produtos de madeira	L/dia/empregado	185	Dziegielewski, 1996 in Mays
Indústria de maquinaria e equipamentos	L/dia/empregado	257	Dziegielewski, 1996 in Mays
Indústria de móveis e acessórios	L/dia/empregado	136	Dziegielewski, 1996 in Mays
Indústria de pedra trabalhada argila e produtos de vidro	L/dia/empregado	764	Dziegielewski, 1996 in Mays
Indústria de petróleo e carvão	L/dia/empregado	3,950	Dziegielewski, 1996 in Mays
Indústria de transportes de equipamentos	L/dia/empregado	318	Dziegielewski, 1996 in Mays
Indústria de vestiários e outros produtos têxteis	L/dia/empregado	98	Dziegielewski, 1996 in Mays
Indústria eletrônica e de outros equipamentos eletrônicos	L/dia/empregado	359	Dziegielewski, 1996 in Mays
Indústria metalúrgica básica	L/dia/empregado	42,400	CESL 1981 apud Santos 1984
Indústria metalúrgica básica	L/dia/empregado	385	Santos, 1984
Indústria primária de metais	L/dia/empregado	673	Dziegielewski, 1996 in Mays
Indústria química e produtos semelhantes	L/dia/empregado	1,009	Dziegielewski, 1996 in Mays
Indústria transformadora diversa	L/dia/empregado	488	Santos, 1984
Indústria de materiais para fins higiênicos	L/dia/operário	50 a 70	Melo e Neto, 1988
Instalações de gás e eletricidade	L/dia/empregado	25	Army Institute for Water Resources 1987 apud Tomaz 2000
Instalações recreacionais	L/dia/empregado	852	Army Institute for Water Resources 1987 apud Tomaz 2000
Instituições financeiras com depósitos	L/dia/empregado	234	Dziegielewski, 1996 in Mays
Instituições financeiras sem depósitos	L/dia/empregado	1365	Dziegielewski, 1996 in Mays
Irrigação de áreas	L/s/ha	1 a 2	Melo e Neto, 1988
Irrigação de área por sprinklers	L/dia/h	300	Melo e Neto, 1988
Jardins, rega com mangueira	L/dia/h	300 a 600	Melo e Neto, 1988
Jornal	L/dia/empregado	178	Dziegielewski, et al, 1993
Laminado de produto não ferroso	L/dia/empregado	297	Dziegielewski, et al, 1993
Lanchonete	L/dia/assento	4 a 8	Melo e Neto, 1988
Laticínios	L/kg	15 a 20	Melo e Neto, 1988
Laticínios	L/dia/empregado	1,447	Dziegielewski, et al, 1993
Lava rápido automático de carros	L/dia/veículo	250	Melo e Neto, 1988
Lavagem de carro	L/dia/carro/lavado	209	Qasim, 1994
Lavagem de pátios e calçadas	L/dia/m ²	1 a 2	Melo e Neto, 1988
Lavanderia	L/kg de roupa seca	30	Macintyre, 1982
Lavanderia	L/dia/lavagem	189	Metcalf & Eddy, 1991

Lavanderia	L/dia/máquina	2,079	Metcalf & Eddy, 1991
Lavanderia com self-service	L/dia/máquina	2,079	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Lavanderia com self-service	L/dia/lavagem	189	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Lavanderia-comercial	L/dia/máquina	3,000	Qasim, 1994
Lavanderia-laundromat	L/dia/máquina	2,200	Qasim, 1994
Lavanderias	L/dia/kg de roupa	1 a 2	Melo e Neto, 1988
Lavanderias	L/dia/kg de roupa	30	DMAE, Porto Alegre 1988
Leiteira	L/dia/cabeça	70 a 80	Qasim, 1994
Local para coquetéis	L/dia/assento	113	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Loja de café	L/dia/cliente	23	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Loja de café	L/dia/empregado	38	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Loja de café	L/dia/cliente	20	Qasim, 1994
Loja de café	L/dia/empregado	40	Qasim, 1994
Loja de comida	L/dia/empregado	418	Dziegielewski, et al, 1993
Loja em região de férias	L/dia/cliente	11	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Loja em região de férias	L/dia/empregado	38	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Lojas	L/dia/m ²	5	Hoddinot 1981 apud Tomaz 2000
Lojas	L/dia/m ²	6 a 10	Melo e Neto, 1988
Lojas	L/dia/banheiro	1,520	Qasim, 1994
Lojas	L/dia/empregado	40	Qasim, 1994
Lojas de bens imóveis	L/dia/empregado	2,302	Dziegielewski, 1996 in Mays
Loja de departamento	L/dia/banheiro	1,890	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Loja de departamento	L/dia/empregado	38	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Loja de departamento	L/dia/banheiro	2,079	Metcalf & Eddy, 1991
Loja de departamento	L/dia/funcionário	38	Metcalf & Eddy, 1991
Loja de departamento	L/dia/m ²	8	Qasim, 1994
Loja de departamento	L/dia/empregado	40	Qasim, 1994
Lojas de escritórios de investimentos e seguros	L/dia/empregado	1,096	Dziegielewski, 1996 in Mays
Lojas de produtos gerais	L/dia/empregado	134	Dziegielewski, et al, 1993
Lojas de seguros de entregadores	L/dia/empregado	514	Dziegielewski, 1996 in Mays
Lojas de seguros e de penhora	L/dia/empregado	4,687	Dziegielewski, 1996 in Mays
Lojas de seguros, penhora e serviços	L/dia/empregado	336	Dziegielewski, 1996 in Mays
Máquinas especiais para indústria	L/dia/empregado	105	Dziegielewski, et al, 1993
Máquinas para indústria em geral	L/dia/empregado	158	Dziegielewski, et al, 1993
Máquinas em geral exceto elétricas	L/dia/empregado	125	Dziegielewski, et al, 1993
Maquinaria e equipamento	L/dia/empregado	1,667	CESL, 1981 in LNEC
Maquinaria e equipamento	L/dia/empregado	86	Santos, 1984
Maquinaria e equipamento	L/dia/empregado	86	Santos, 1984
Maquinários	L/dia/empregado	68	Dziegielewski, et al, 1993
Máquinas de parafusos	L/dia/empregado	373	Dziegielewski, et al, 1993
Máquinas para escritório e comp,	L/dia/empregado	116	Dziegielewski, et al, 1993
Máquinas para metalúrgica	L/dia/empregado	196	Dziegielewski, et al, 1993
Marcenaria	L/dia/empregado	64	Dziegielewski, et al, 1993
Matadouro para animais de grande porte	L/dia/animal/abatido	300	Macintyre, 1982

Matadouro para animais de pequeno porte	L/dia/animal/abatido	150	Macintyre, 1982
Matadouro por cabeça grande abatida	L/dia/cabeça abatida	300	Melo e Neto, 1988
Matadouro por cabeça pequena abatida	L/dia/cabeça abatida	150	Melo e Neto, 1988
Média de indústria alimentar	L/dia/empregado	2,205	Archibald 1981 apud Tomaz 2000
Média de indústria alimentar	L/dia/empregado	5,742	CESL 1981 apud Santos 1984
Média de indústria alimentar	L/dia/empregado	6,853	Santos, 1984
Média da indústria de bebida	L/dia/empregado	337	Santos, 1984
Média da indústria química	L/dia/empregado	11,854	Archibald 1981 apud Tomaz 2000
Média da indústria química	L/dia/empregado	59,800	CESL 1981 apud Santos 1984
Média da indústria química	L/dia/empregado	1,469	Santos, 1984
Média da indústria têxtil	L/dia/empregado	8,627	Archibald 1981 apud Tomaz 2000
Média da indústria têxtil	L/dia/empregado	2,880	CESL 1981 apud Santos 1984
Média da indústria têxtil	L/dia/empregado	3,069	Santos, 1984
Mercadinho	L/dia/empregado	507	Dziegielewski, et al, 1993
Mercado	L/dia/m ²	5	DMAE, Porto Alegre 1988
Mercados	L/dia/m ²	5 a 10	Melo e Neto, 1988
Mercados	L/dia/m ²	5	Macintyre, 1982
Misseis teleguiados e veículos espaciais	L/dia/empregado	278	Dziegielewski, et al, 1993
Mobília para homens e crianças	L/dia/empregado	61	Dziegielewski, et al, 1993
Motéis		300 a 600	Melo e Neto, 1988
Móveis para casa	L/dia/empregado	97	Dziegielewski, et al, 1993
Móveis para escritório	L/dia/empregado	95	Dziegielewski, et al, 1993
Museus, botânica e jardins zoológicos	L/dia/empregado	786	Dziegielewski, et al, 1993
Oficina de reparo de autos, serviços e estacionamento	L/dia/empregado	820	Dziegielewski, et al, 1993
Padaria	L/dia/empregado	271	Dziegielewski, et al, 1993
Panificadora	L/ton	1,814	Metcalf & Eddy, 1991
Papel	L/ton	109,620	Metcalf & Eddy, 1991
Papel (indústria)	L/dia/empregado	2,205	Archibald 1981 apud Tomaz 2000
Papel (indústria)	L/dia/empregado	481,000	CESL 1981 apud Santos 1984
Papel (indústria)	L/dia/empregado	722	Santos, 1984
Papel de imprensa	L/kg	400 a 600	Melo e Neto, 1988
Papel e produtos associados	L/dia/empregado	9,881	Dziegielewski, 1996 in Mays
Papel fino	L/kg	1,500 a 3,000	Melo e Neto, 1988
Papel reciclado	L/dia/empregado	343	Dziegielewski, et al, 1993
Parque com banheiro	L/dia/visitante	30	Metcalf & Eddy, 1991
Parque de exposições	L/dia/visitante	8	Metcalf & Eddy, 1991
Parques e áreas verdes	L/dia/m ²	2	Melo e Neto, 1988
Piscina	L/dia/usuário	38	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Piscina	L/dia/empregado	38	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Piscina pública	L/dia/m ²	500	Melo e Neto, 1988
Piscina pública	L/dia/usuário	30 a 50	Melo e Neto, 1988
Polpa	L/ton	2,256,800	Metcalf & Eddy, 1991
Polpa e papel	m ³ /ton	200 a 800	Qasim, 1994
Polpa para papel	L/kg	300 a 800	Melo e Neto, 1988
Posto de gasolina	L/dia/empregado	45	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000

Posto de gasolina	L/dia/funcionário	49	Metcalf & Eddy, 1991
Posto de gasolina	L/dia/veículo servido	38	Metcalf & Eddy, 1991
Posto de gasolina	L/dia/primeiro lavador	3,800	Qasim, 1994
Posto de gasolina	L/dia/lavador adicional	1,900	Qasim, 1994
Posto de gasolina	L/dia/empregado	190	Qasim, 1994
Posto de gasolina	L/dia/veículo servido	38	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Posto de serviços para automóveis	L/dia/veículo	150	DMAE, Porto Alegre 1988
Prédio industrial somente uso sanitário	L/dia/empregado	49	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Prédio de apartamentos	L/dia/dormitório	400	SABESP, 1983
Prisão	L/dia/preso	435	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Prisão	L/dia/empregado	38	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Prisão	L/dia/funcionário	34	Metcalf & Eddy, 1991
Prisão	L/dia/presidiário	454	Metcalf & Eddy, 1991
Prisã	L/dia/preso	450	Qasim, 1994
Produtos estruturais metálicos	-	239	Dziegielewski, et al, 1993
Produtos lácteos	L/ton	9,072	Metcalf & Eddy, 1991
Produtos metais variados	L/dia/empregado	198	Dziegielewski, et al, 1993
Produtos químicos	L/dia/empregado	431	Dziegielewski, et al, 1993
Produtos têxteis	L/dia/empregado	94	Dziegielewski, et al, 1993
Quartéis	L/dia/soldado	100 a 200	Melo e Neto, 1988
Quartéis	L/dia/soldado	150	Macintyre, 1982
Química-amônia	L/ton	90,720	Metcalf & Eddy, 1991
Química dióxido de carbono	L/ton	54,432	Metcalf & Eddy, 1991
Química lactose	L/ton	544,320	Metcalf & Eddy, 1991
Química sulfetos	L/ton	7,258	Metcalf & Eddy, 1991
Recreação e diversão	L/dia/empregado	1,707	Dziegielewski, et al, 1993
Reengarramento	L/dia/empregado	1,625	Santos, 1984
Refinação de óleos	L/dia/empregado	188,679	Santos, 1984
Refrigerantes	L/dia/empregado	3,465	Santos, 1984
Rega de Jardim	L/dia/m ²	1,5	Macintyre, 1982
República de estudantes	L/dia/pessoa	151	Metcalf & Eddy, 1991
Residência	L/dia/dormitório	200 a 400	Melo e Neto, 1988
Residência classe alta	L/dia/m ²	5,3 a 6,2	Nucci, Nelson
Residência classe baixa	L/dia/m ²	10 a 18	Nucci, Nelson
Residência classe média	L/dia/m ²	4,1 a 7,7	Nucci, Nelson
Residência de luxo	L/dia/per capita	300 a 400	Macintyre, 1982
Residência de médio valor	L/dia/per capita	150	Macintyre, 1982
Residência unifamiliar de alta renda	L/dia/pessoa	380	Qasim, 1994
Residência unifamiliar de média renda	L/dia/pessoa	310	Qasim, 1994
Residência unifamiliar de baixa renda	L/dia/pessoa	270	Qasim, 1994
Residência valor médio	L/dia/m ²	6,77 a 7,5	Nucci, Nelson
Residências populares	L/dia/per capita	120 a 150	Macintyre, 1982
Restaurante	L/dia/m ²	11	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Restaurante com bar e balcão	L/dia/cliente	11	Metcalf & Eddy, 1991
Restaurante com bar e balcão		76	Metcalf & Eddy, 1991
Restaurante convencional	L/dia/cliente	34	Metcalf & Eddy, 1991
Restaurante rápido	L/dia/cliente	23	Metcalf & Eddy, 1991

Restaurante, bar, lanchonete	L/dia/empregado	457	Dziegielewski, et al, 1993
Restaurantes	L/dia/m ²	23	Hoddinot, M., 1981
Restaurantes	L/dia/refeição	25	Macintyre, 1982
Restaurantes	L/dia/refeição	25	SABESP, 1983
Restaurantes	L/dia/cliente	30	Qasim, 1994
Restaurantes e similares	L/dia/refeição	25	DMAE, Porto Alegre 1988
Restaurantes nas rodovias	L/dia/assento	75 a 250	Melo e Neto, 1988
Restaurantes urbanos	L/dia/refeição	20 a 30	Melo e Neto, 1988
Restaurantes urbanos por assento	L/dia/assento	80 a 120	Melo e Neto, 1988
Roupas para senhoras	L/dia/empregado	48	Dziegielewski, et al, 1993
Sabões	L/dia/empregado	2,056	Santos, 1984
Sala de refeições	L/dia/refeição	26	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Salão de bailes	L/dia/pessoa	8	Qasim, 1994
Serviços de advocacia	L/dia/empregado	3,103	Dziegielewski, 1996 in Mays
Serviços de divertimento e recreação	L/dia/empregado	1,622	Dziegielewski, 1996 in Mays
Serviços de enfermagem	L/dia/empregado	674	Dziegielewski, et al, 1993
Serviços de engenharia e administ,	L/dia/empregado	219	Dziegielewski, 1996 in Mays
Serviços de metais	L/dia/empregado	831	Dziegielewski, et al, 1993
Serviços de negócios	L/dia/empregado	276	Dziegielewski, 1996 in Mays
Serviços de saúde	L/dia/empregado	344	Dziegielewski, 1996 in Mays
Serviços educacionais	L/dia/empregado	442	Dziegielewski, 1996 in Mays
Serviços miscelânea de reparos	L/dia/empregado	261	Dziegielewski, 1996 in Mays
Serviços pessoais	L/dia/empregado	1,746	Dziegielewski, 1996 in Mays
Serviços sociais	L/dia/empregado	401	Dziegielewski, 1996 in Mays
Shopping Center	L/dia/m ²	4	Hoddinot 1981 apud Tomaz 2000
Shopping Center	L/dia/empregado	38	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Shopping Center	L/dia/estacionamento de veículos	8	Geyer e Lentz 1962 apud Tomaz 2000
Shopping Center	L/dia/estacionamento	8	Metcalf & Eddy, 1991
Shopping Center	L/dia/funcionário	38	Metcalf & Eddy, 1991
Shopping Center	L/dia/m ²	6	Qasim, 1994
Shopping Center	L/dia/empregado	40	Qasim, 1994
Teatro	L/dia/assento	11	Salvato 1982 apud Tomaz 2000
Teatros	L/dia/m ²	7	Hoddinot 1981 apud Tomaz 2000
Teatros por assento	L/dia/assento	5 a 10	Melo e Neto, 1988
Tecelagem e tinturaria	L/dia/empregado	3,023	Santos, 1984
Templos religiosos	L/dia/freqüentador	2	Melo e Neto, 1988
Têxteis (fabricação de produtos)	L/dia/empregado	2,964	Dziegielewski, 1996 in Mays
Têxteis alvejamento de algodão	L/ton	181,440	Metcalf & Eddy, 1991
Têxteis com tingimento de algodão	L/ton	27,216	Metcalf & Eddy, 1991
Têxteis, alvejamento	L/kg	275 a 365	Melo e Neto, 1988
Têxteis, tinturaria	L/kg	35 a 70	Melo e Neto, 1988
Tintas e produtos afins	L/dia/empregado	130	Dziegielewski, et al, 1993
Têxteis, alvejamento	L/kg	275 a 365	Melo e Neto, 1988
Têxteis tinturaria	L/kg	35 a 70	Melo e Neto, 1988
Tintas e produtos afins	L/dia/empregado	130	Dziegielewski, et al, 1993

Tintas e resinas	L/dia/empregado	734	Santos, 1984
Transporte e armazenamento	L/dia/empregado	228	Dziegielewski, et al, 1993
Transporte local e interurbano de passageiros	L/dia/empregado	98	Dziegielewski, 1996 in Mays
Transporte por estrada de ferro	L/dia/empregado	257	Dziegielewski, 1996 in Mays
Universidade	L/dia/empregado	477	Dziegielewski, et al, 1993
Usinas de leite	L/L de leite	5	Macintyre, 1982
Valor médio das indústrias	L/dia/empregado	2,151	Archibald 1981 apud Tomaz 2000
Valor médio das indústrias	L/dia/empregado	2,920	Santos, 1984
Vários tipos de comidas	L/dia/empregado	475	Dziegielewski, et al, 1993
Venda de comida no varejo	L/dia/empregado	118	Dziegielewski, 1996 in Mays
Whisky	L/dia/ton	54,432	Metcalf & Eddy, 1991

ANEXO 2

Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas

LEI Nº 10,506, de 5 de agosto de 2008,

Institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas,

O PREFEITO MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE,

Faço saber que a Câmara Municipal aprovou e eu sanciono a seguinte Lei:

Capítulo I

DAS DISPOSIÇÕES PRELIMINARES

Art, 1º Fica instituído o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas, Parágrafo único, O Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas objetiva a promoção de medidas necessárias à conservação, à redução do desperdício e à utilização de fontes alternativas para a captação e o aproveitamento da água nas edificações, bem como à conscientização dos usuários sobre a sua importância para a vida,

Art, 2º Para os fins desta Lei, considera-se:

I – conservação o conjunto de ações que propiciam a redução da poluição e dos prejuízos por ela causados;

II – uso racional das águas o conjunto de ações destinadas a evitar o desperdício de água;

III – água potável aquela destinada ao consumo humano, cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade, não oferecendo riscos à saúde;

IV – desperdício de água o volume de água potável dispensado, sem aproveitamento ou pelo uso abusivo;

V – reaproveitamento das águas o processo pelo qual a água, potável ou não, é reutilizada para o mesmo ou outro fim;

VI – Serviço de Abastecimento Público de Água o conjunto de atividades, instalações e equipamentos destinados a fornecer água potável para uma comunidade;

VII – fonte alternativa o local distinto do sistema de abastecimento público onde é possível captar a água para o consumo humano; e

VIII – águas servidas as águas que foram utilizadas em tanques, pias, máquinas de lavar, bidês, chuveiros, banheiras e outros equipamentos,

Capítulo II

DA CONSERVAÇÃO E DO USO RACIONAL DA ÁGUA

Art, 3º A conservação dos mananciais exige, dentre outras, as seguintes medidas:

I – a coleta e o tratamento de esgotos;

II – o controle da ocupação urbana;

III – o controle da poluição de córregos, rios e lagos; e

IV – a educação ambiental para evitar a poluição e o desperdício,

Art, 4º O uso racional das águas implica combate ao comprometimento dos mananciais e ao desperdício e compreende, principalmente:

I – o desenvolvimento e a disseminação de ações educacionais sobre a importância do uso racional da água para o ser humano e para o meio ambiente;

II – a progressiva substituição dos hidrômetros convencionais e a implantação de medição computadorizada, com telemetria, para o acompanhamento do consumo;

III – a correção sistemática de falhas no sistema de medição, bem como a detecção de eventuais vazamentos como resultado da maior eficiência no sistema de medição e leitura à distância; e

IV – a intensificação da fiscalização relativa a ligações irregulares ou clandestinas na rede de água e em ramais, assim como a fraudes nos hidrômetros,

Art, 5º Para combater o desperdício de água nas edificações, serão utilizados, dentre outros, os seguintes equipamentos:

I – bacias sanitárias de volume reduzido de descarga;

II – chuveiros e lavatórios de volumes fixos de descarga; e

III – torneiras com arejadores,

Parágrafo único, Nos condomínios, além dos equipamentos para o combate ao desperdício de água, serão instalados hidrômetros para medição individualizada do volume de água consumido,

Art, 6º Os sistemas hidráulico e sanitário das novas edificações serão projetados de modo a propiciar a economia e o combate ao desperdício de água, privilegiando a sustentabilidade dos recursos hídricos, sem prejuízo do conforto e da segurança dos habitantes,

Capítulo III

DO REAPROVEITAMENTO DAS ÁGUAS

Art, 7º O reaproveitamento das águas destina-se a diminuir a demanda de água, aumentando as condições de atendimento e reduzindo a possibilidade de inundações,

Art, 8º As ações de reaproveitamento das águas compreendem basicamente:

I – a captação, o armazenamento e a utilização de água proveniente das chuvas; e

II – a captação, o armazenamento e a utilização de águas servidas,

Art, 9º A água das chuvas será captada na cobertura das edificações e encaminhada a uma cisterna ou tanque para ser utilizada em atividades que não requeiram o uso de água potável proveniente do Serviço de Abastecimento Público de Água, tais como a lavagem de roupas, vidros, calçadas, pisos, veículos e a irrigação de hortas e jardins,

Art, 10, As águas servidas serão captadas, direcionadas por meio de encanamento próprio e conduzidas a reservatórios

destinados a abastecer as descargas de vasos sanitários ou mictórios,

§ 1º VETADO,

§ 2º O regulamento desta Lei definirá parâmetros e procedimentos visando à economicidade das edificações e à viabilidade técnica para atender ao disposto no “caput” deste artigo,

Art, 11, As águas dos lagos artificiais e chafarizes de parques, praças e jardins serão provenientes de ações de reaproveitamento,

Parágrafo único, O disposto no “caput” deste artigo refere-se apenas ao inc, I do art, 8º desta Lei ou às águas do sistema público de abastecimento,

Capítulo IV

DAS DISPOSIÇÕES GERAIS

Art, 12, No caso de construções e reformas cujos projetos já tenham sido aprovados, o interessado em participar do Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas poderá solicitar especificações técnicas ou apresentar novo projeto que contemple a instalação dos equipamentos destinados ao reaproveitamento das águas,

Art, 13, O Poder Público poderá cadastrar as edificações que aderirem ao Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas para fins de estudos referentes a incentivos,

Art, 14, Na regulamentação do Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas, serão ouvidos, em audiências públicas, técnicos vinculados a atividades de preservação e conservação do meio ambiente,

Parágrafo único, A regulamentação estabelecerá os requisitos necessários à instalação e ao dimensionamento dos equipamentos destinados à conservação, ao uso racional e ao reaproveitamento das águas, com vista à aprovação dos projetos, visando à viabilidade técnica nos termos do § 2º do art, 10 desta Lei,

Art, 15, O não-cumprimento do disposto nesta Lei implica negativa de licenciamento para as edificações a serem executadas a partir da sua vigência,

Art, 16, Esta Lei entra em vigor 180 (cento e oitenta) dias a contar da data de sua publicação,

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 5 de agosto de 2008,

José Fogaça,

Prefeito,

Miguel Tedesco Wedy,

Secretário Municipal do Meio Ambiente,

Ricardo Gothe,

Secretário do Planejamento Municipal,

Cassio Trogildo,

Secretário Municipal de Obras e Viação,

Registre-se e publique-se,

Virgílio Costa,

Secretário Municipal de Gestão e Acompanhamento Estratégico

ANEXO 3

DECRETO N° 15,371, de 17 de novembro de 2006

Regulamenta o controle da drenagem urbana,

O PREFEITO MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, usando de suas atribuições legais e tendo em vista o art, 97 e art, 135, § 6o, da Lei Complementar n° 434/99, e considerando que compete ao Poder Público prevenir o aumento das inundações devido à impermeabilização do solo e canalização dos arroios naturais;

Considerando que o impacto resultante da impermeabilização produz aumento de freqüência de inundações, piora da qualidade da água e aumento do transporte de material sólido, degradando o ambiente urbano;

Considerando que deve ser responsabilidade de cada empreendedor a manutenção das condições prévias de inundação nos arroios da cidade, evitando-se a transferência para o restante da população do ônus da compatibilização da drenagem urbana;

Considerando que a preservação da capacidade de infiltração das bacias urbanas é prioridade para a conservação ambiental dos arroios e rios, que compõem a macrodrenagem e dos rios receptores do escoamento da cidade de Porto Alegre;

D E C R E T A:

Art, 1° Toda ocupação que resulte em superfície impermeável, deverá possuir uma vazão máxima específica de saída para a rede pública de pluviais igual a 20,8 l/(s,ha),

§ 1° A vazão máxima de saída é calculada multiplicando-se a vazão específica pela área total do terreno,

§ 2° Serão consideradas áreas impermeáveis todas as superfícies que não permitam a infiltração da água para o subsolo,

§ 3° A água precipitada sobre o terreno não pode ser drenada diretamente para ruas, sarjetas e/ou redes de drenagem excetuando-se o previsto no § 4°, deste artigo,

§ 4° As áreas de recuo mantidas como áreas verdes poderão ser drenadas diretamente para o sistema de drenagem,

§ 5° Para terrenos com área inferior a 600m² e para habitações unifamiliares, a limitação de vazão referida no "caput" deste artigo poderá ser desconsiderada, a critério do Departamento de Esgoto Pluviais - DEP,

Art, 2° Todo parcelamento do solo deverá prever na sua implantação o limite de vazão máxima específica disposto no art, 1°,

Art, 3° A comprovação da manutenção das condições de pré-ocupação no lote ou no parcelamento do solo deve ser apresentada ao DEP (Departamento de Esgoto Pluviais),

§ 1o Para terrenos com área inferior a 100 (cem) hectares, quando o controle adotado pelo empreendedor for o reservatório, o volume necessário do reservatório deve ser determinado através da equação: $v = 4,25 AI$, Onde v é o volume por unidade de área de terreno em m³/hectare e AI é a área impermeável do terreno em %,

§ 2° O volume de reservação necessário para áreas superiores a 100 (cem) hectares deve ser determinado através de estudo hidrológico específico, com precipitação de projeto com probabilidade de ocorrência de 10% (dez por cento) em qualquer ano (Tempo de retorno = 10(dez) anos),

§ 3° Poderá ser reduzida a quantidade de área a ser computada no cálculo referido no § 1° se for(em) aplicada(s) a(s) seguinte(s) ação(ões):

a) aplicação de pavimentos permeáveis (blocos vazados com preenchimento de areia ou grama, asfalto poroso, concreto poroso) - reduzir em 50% (cinquenta por cento) a área que utiliza estes pavimentos;

b) desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis com drenagem - reduzir em 40% (quarenta por cento) a área de telhado drenada;

c) desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis sem drenagem - reduzir em 80% (oitenta por cento) a área de telhado drenada;

d) aplicação de trincheiras de infiltração - reduzir em 80% (oitenta por cento) as áreas drenadas para as trincheiras,

§ 4° A aplicação das estruturas listadas no § 3o estará sujeita a autorização do DEP, após a devida avaliação das condições mínimas de infiltração do solo no local de implantação do empreendimento, a serem declaradas e comprovadas pelo interessado,

§ 5º As regras de dimensionamento e construção para as estruturas listadas no § 3º bem como para os reservatórios deverão ser obtidas no Manual de Drenagem Urbana do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre,

Art, 4º Após a aprovação do projeto de drenagem pluvial da edificação ou do parcelamento por parte do DEP, é vedada qualquer impermeabilização adicional de superfície,

Parágrafo Único, A impermeabilização poderá ser realizada se houver retenção do volume adicional gerado de acordo com a equação do art, 3º, § 1º,

Art, 5º Os casos omissos no presente Decreto deverão ser objeto de análise técnica do Departamento de Esgotos Pluviais - DEP,

Art, 6º Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação,
PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 17 de novembro de 2006,

José Fogaça, Prefeito,

Sônia Vaz Pinto, Secretária Municipal de Administração,

Registre-se e publique-se,

Clóvis Magalhães, Secretário Municipal de Gestão e Acompanhamento Estratégico,

ANEXO 4

FICHAS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA



DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **ARACAJU/SE**

Nome dos postos pluviométricos: ARACAJU
Códigos ANA: 1037002
Disponibilidade: 1930 a 1985 (56 anos – 22,2% de falhas)
População (IBGE - 2010): 570.937 hab

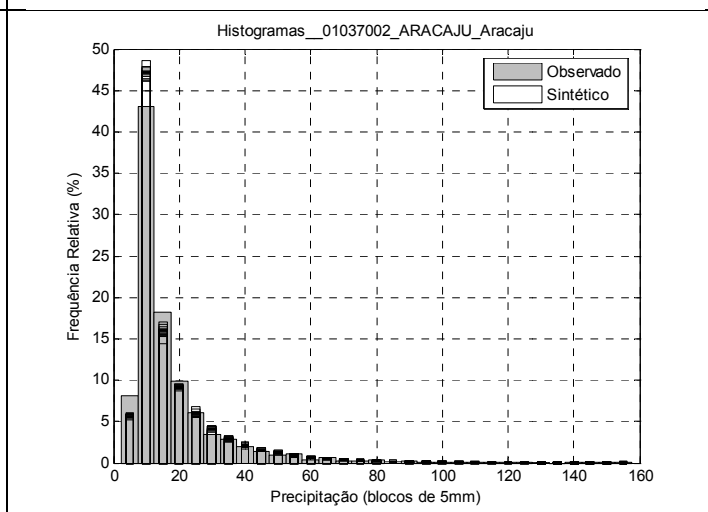
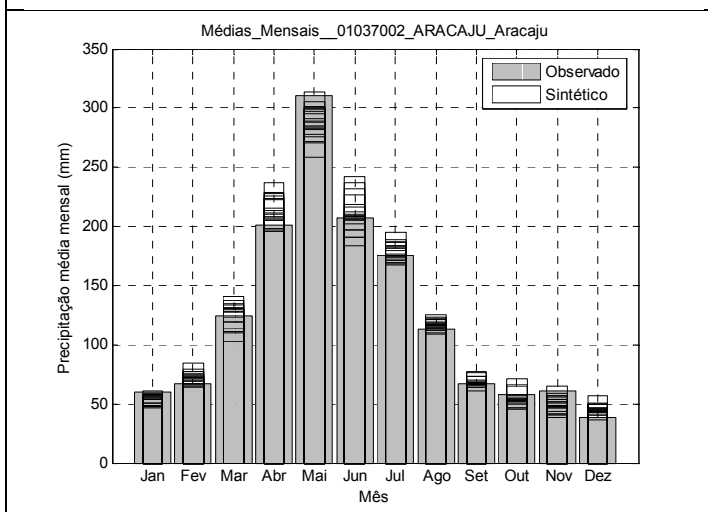
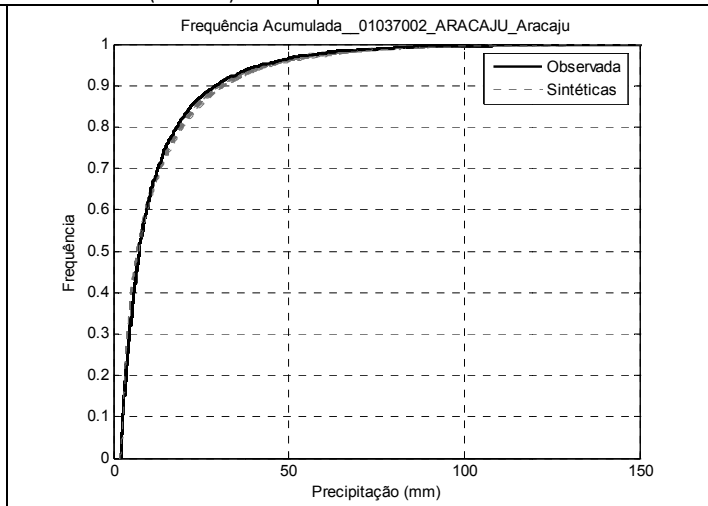
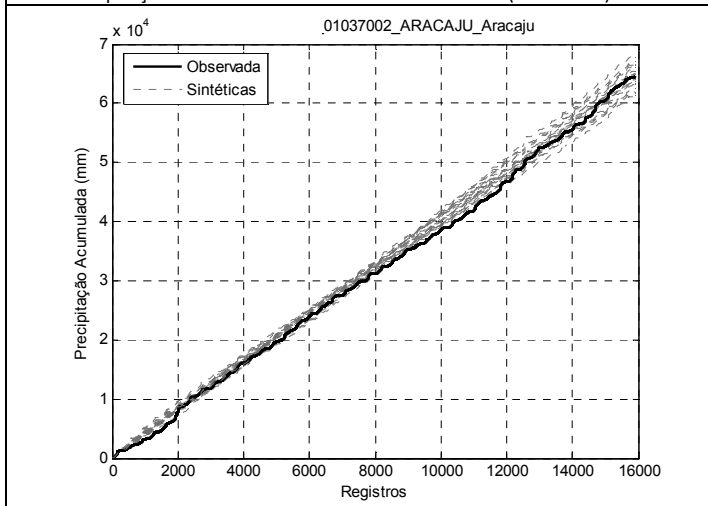


Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	59	67	124	201	310	207	176	113	67	58	61	38
Média Sintética	54	72	126	213	289	210	179	117	68	54	50	45
Precipitação Média anual:	1.482mm (observada)						1.477mm (sintética)					

Aracaju/SE
Lat. 10°54'S Long.37°03'W
Altitude: 3m



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

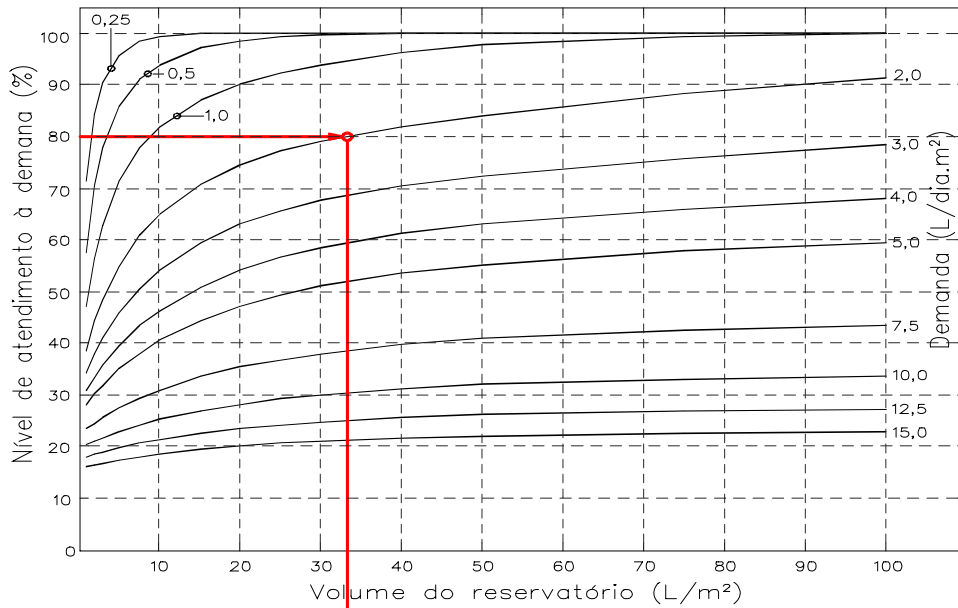
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

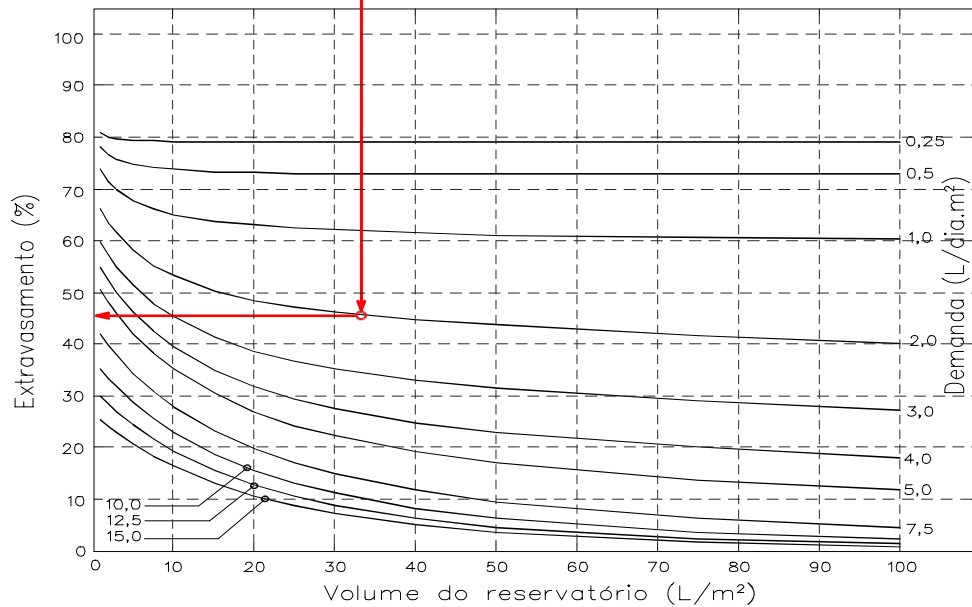
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 33,0L/m^2 \times 150m^2 = 4.950L$

% de extravasamento = **46%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO

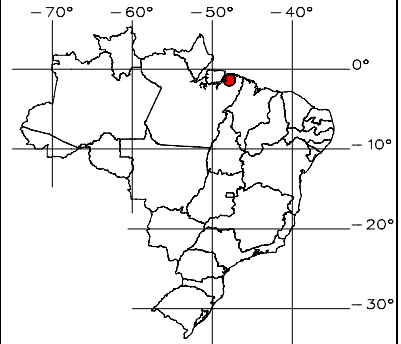




DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **BELEM/PA**

Nome do posto pluviométrico: BELEM
Código ANA: 148002
Disponibilidade: 1949 a 1998 (50 anos – 7,2% de falhas)
População (IBGE - 2010): 1.392.031 hab



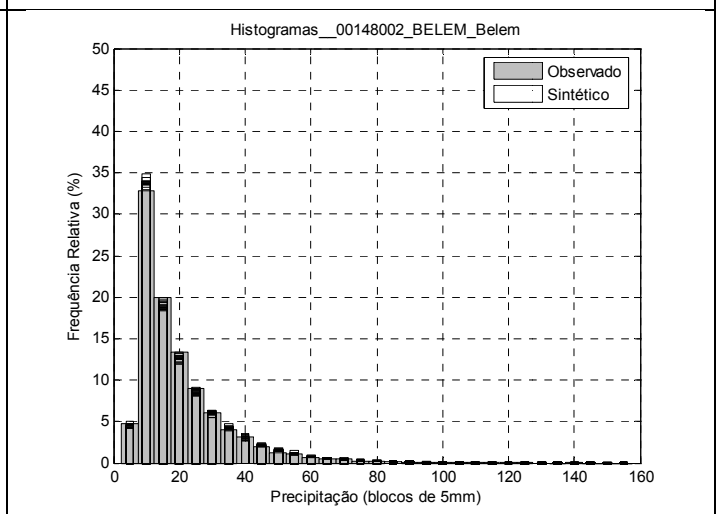
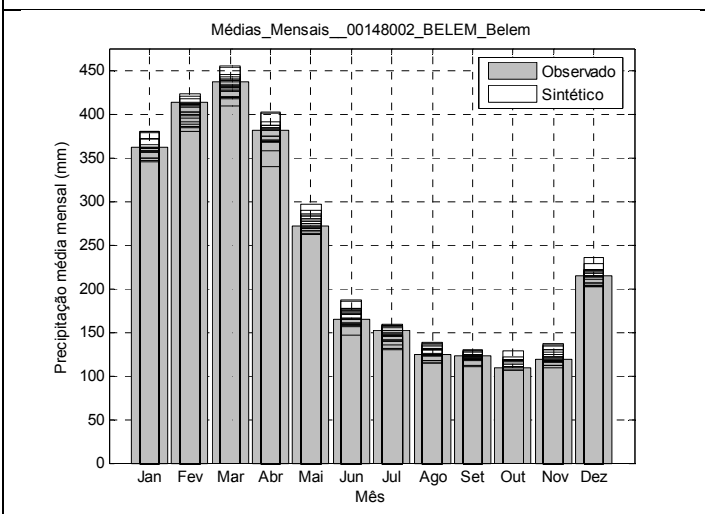
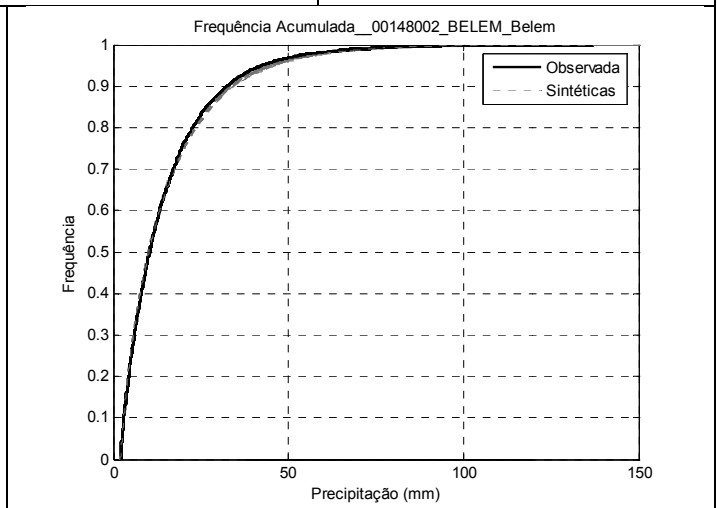
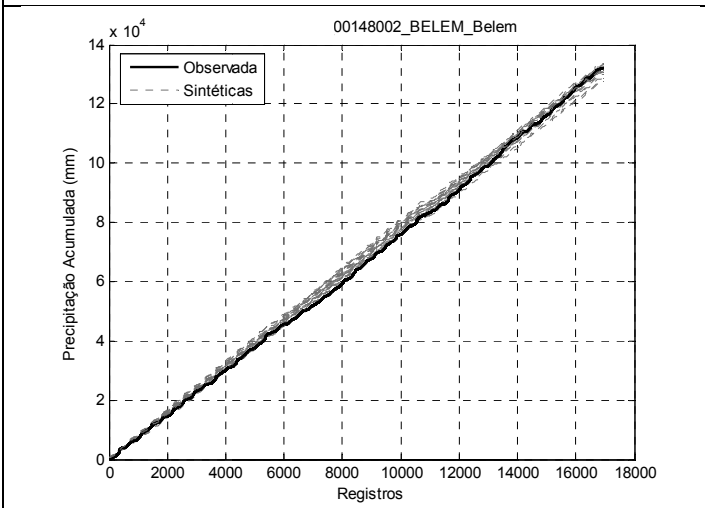
Belém/PA
Lat. 1°26'06"S Long.48°26'16"W
Altitude: 10m

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	362	401	432	377	276	168	146	127	121	116	122	215
Média Sintética	362	413	437	381	271	164	152	125	123	110	119	215

Precipitação Média anual: 2.871mm (observada) 2.862mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m²;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

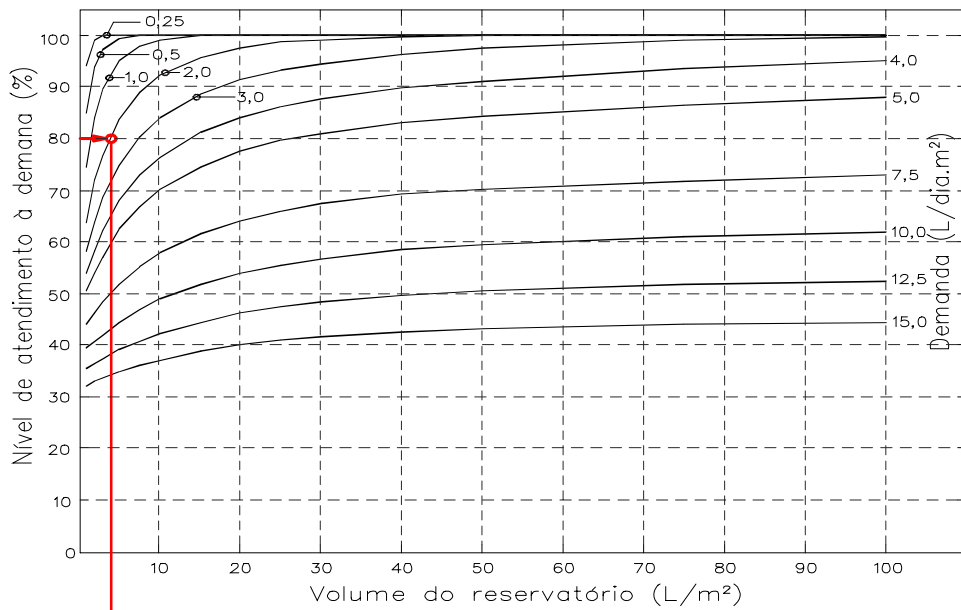
Área de captação = 150m² de telhado, Demanda por água não potável = 300L/dia

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

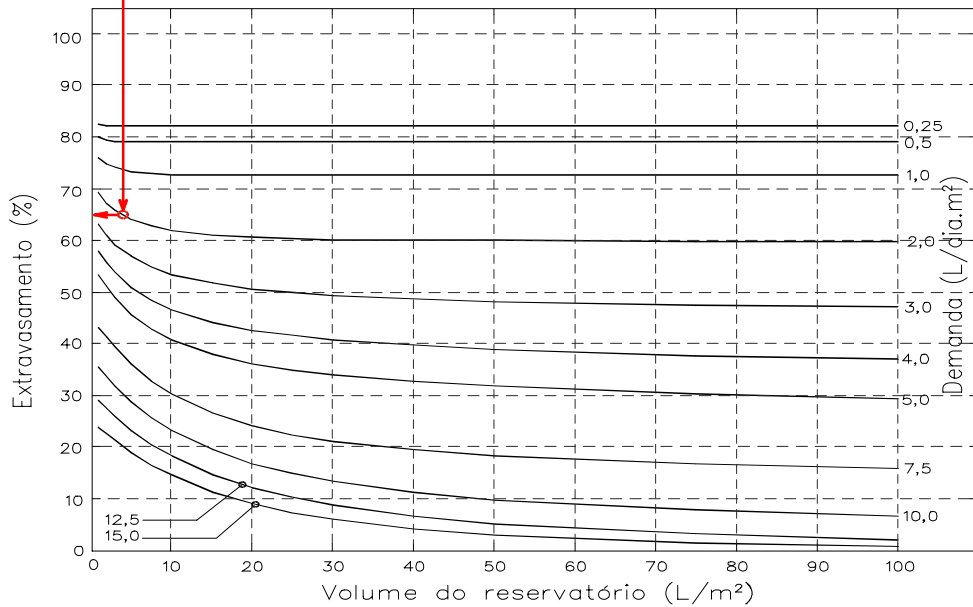
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 4,0L/m^2 \times 150m^2 = 600L$

% de extravasamento = 66%

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



Instruções e exemplo para uso das tabelas:

- 1º Saber área de captação (A) em m²;
 - 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
 - 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
 - 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)
- Obs. Nas tabelas os limites (superior e inferior) são referentes ao intervalo de confiança para 90% de significância.

Exemplo:

Área de captação = 150m² de telhado, Demanda por água não potável = 300L/dia

Du=2,0L/dia.m² - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo e=80%

Resultado: Volume do reservatório => interpolando entre 76,6% (3L/m²) e 83,7% (5L/m²) Vu =4,0L/m²

$$Vu \times A = 4,0L/m^2 \times 150m^2 = 600L$$

% de extravasamento => interpolando entre 65,9% (3L/m²) e 64,1% (5L/m²) => **65,0%**

DIMENSIONAMENTO

ATENDIMENTO À DEMANDA

EXTRAVASAMENTO

		Demanda em (L/dia.m ²)											Demanda em (L/dia.m ²)											Limite (inf.)	Média (%)	Limite (sup.)
		0,25	0,5	1	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15	0,25	0,5	1	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15			
1		93,6	84,2	73,7	62,7	57,2	53,0	49,7	43,3	38,6	34,8	31,6	82,3	79,8	75,7	68,8	62,7	57,3	52,5	42,3	34,3	27,9	22,7			
		94,1	84,9	74,5	63,6	58,1	53,9	50,6	44,2	39,3	35,4	32,2	82,4	80,0	75,9	69,2	63,2	57,9	53,2	43,2	35,3	29,0	23,9			
2		94,6	85,6	75,4	64,5	59,0	54,8	51,5	45,0	40,1	36,1	32,8	82,5	80,1	76,1	69,6	63,7	58,6	53,9	44,1	36,4	30,1	25,1			
		98,6	93,2	83,2	71,0	62,8	57,3	53,1	45,4	40,0	35,7	32,3	82,2	79,4	74,7	67,1	61,1	55,7	51,0	41,2	33,5	27,4	22,5			
3		99,7	97,7	90,0	77,4	69,6	63,0	58,0	49,1	42,9	38,1	34,3	82,3	79,6	75,0	67,5	61,6	56,4	51,8	42,1	34,6	28,6	23,7			
		99,8	97,3	89,4	76,6	68,7	62,0	57,1	48,2	42,1	37,4	33,6	82,2	79,2	74,0	65,9	59,1	53,8	49,0	39,3	31,8	26,0	21,3			
5		100	99,2	94,4	82,9	73,9	66,9	61,4	50,7	43,5	38,2	34,1	82,1	78,9	72,9	63,5	56,1	50,0	44,8	35,0	27,7	22,2	17,8			
		100	99,4	95,0	83,7	74,8	67,9	62,4	51,7	44,4	39,0	34,8	82,2	79,1	73,3	64,1	56,8	50,8	45,7	36,1	28,9	23,3	19,0			
7,5		100	99,6	95,5	84,5	75,7	68,8	63,4	52,6	45,3	39,8	35,5	82,3	79,2	73,6	64,7	57,5	51,7	46,6	37,1	30,0	24,5	20,2			
		100	99,9	97,8	88,9	80,2	72,9	66,7	55,2	46,9	40,8	36,0	82,2	79,0	72,9	62,7	54,7	48,3	42,9	32,7	25,7	20,5	16,6			
10		100	99,9	98,8	91,5	82,9	75,4	69,1	56,7	47,9	41,3	36,3	82,1	78,8	72,4	61,3	52,5	45,5	39,7	29,2	22,0	17,0	13,4			
		100	100	99,1	92,2	83,9	76,4	70,1	57,7	48,9	42,2	37,1	82,2	79,0	72,8	61,9	53,3	46,5	40,8	30,3	23,1	18,2	14,5			
15		100	100	99,3	92,8	84,8	77,4	71,1	58,8	49,9	43,2	37,9	82,3	79,2	73,1	62,6	54,2	47,5	41,8	31,4	24,3	19,4	15,6			
		100	100	99,8	95,7	88,4	81,1	74,6	61,6	51,8	44,5	38,8	82,2	79,0	72,7	61,0	51,6	44,1	37,9	26,6	19,4	14,6	11,3			
20		100	100	99,9	96,3	89,3	82,1	75,7	62,7	52,9	45,5	39,7	82,3	79,2	73,0	61,7	52,5	45,1	39,0	27,8	20,6	15,8	12,4			
		100	100	99,9	97,6	91,2	84,1	77,5	64,1	53,9	46,1	40,0	82,2	79,0	72,6	60,5	50,5	42,6	36,0	24,2	16,7	12,1	9,1			
25		100	100	100	98,1	92,0	85,1	78,6	65,3	55,1	47,2	40,9	82,1	78,8	72,2	60,3	50,7	43,0	36,8	25,4	18,2	13,5	10,2			
		100	100	100	98,6	93,1	86,1	79,5	66,0	55,5	47,3	40,9	82,2	79,0	72,6	60,3	49,8	41,5	34,7	22,4	14,8	10,1	7,3			
30		100	100	100	99,0	93,9	87,1	80,6	67,2	56,7	48,4	41,9	82,3	79,2	73,0	61,0	50,8	42,6	35,9	23,7	16,0	11,2	8,3			
		100	100	100	99,1	94,4	87,6	81,0	67,3	56,7	48,2	41,6	82,2	79,0	72,6	60,1	49,3	40,8	33,8	21,1	13,2	8,6	6,0			
40		100	100	100	99,5	95,2	88,6	82,1	68,5	57,9	49,4	42,6	82,1	78,8	72,3	59,8	49,6	41,5	34,9	22,9	15,5	10,9	8,0			
		100	100	100	99,7	96,2	89,7	83,0	69,1	58,4	49,6	42,6	82,2	79,0	72,6	60,0	48,6	39,7	32,5	19,4	11,1	6,5	4,1			
50		100	100	100	99,9	97,0	90,8	84,1	70,4	59,7	50,8	43,7	82,3	79,2	73,0	61,2	51,5	43,6	37,2	25,4	18,0	13,2	10,1			
		100	100	100	99,8	96,6	90,1	83,1	68,9	58,1	49,2	42,0	82,1	78,8	72,2	59,1	47,1	37,8	30,5	17,0	8,5	4,3	2,4			
75		100	100	100	98,1	92,3	85,5	71,5	60,8	51,7	44,3	82,3	79,2	73,0	60,7	49,2	40,1	32,9	19,6	10,8	5,9	3,5				
		100	100	100	98,9	93,5	86,4	71,8	61,0	51,7	44,0	82,1	78,9	72,6	59,8	47,5	37,7	30,3	16,8	7,7	3,1	1,3				
100		100	100	100	99,4	94,6	87,7	73,2	62,4	53,1	45,2	82,2	79,1	73,0	60,6	48,6	38,9	31,5	18,0	8,7	3,8	1,7				
		100	100	100	99,3	94,0	86,5	71,4	60,4	51,0	43,1	82,0	78,7	72,2	59,1	46,1	35,7	28,2	14,7	5,5	1,5	0,4				
		100	100	100	99,6	95,1	87,9	72,8	61,9	52,4	44,4	82,1	78,9	72,5	59,8	47,2	36,9	29,4	15,8	6,5	2,1	0,7				
		100	100	100	99,9	96,2	89,3	74,3	63,4	53,8	45,6	82,2	79,1	72,9	60,6	48,3	38,1	30,5	16,9	7,6	2,6	0,9				

Erros médios relativos em relação à simulação com a série observada

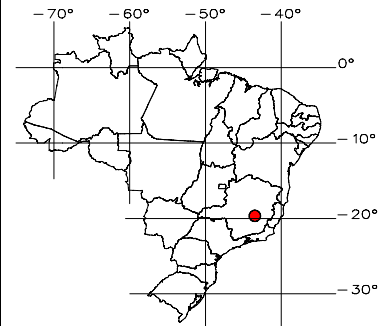
Nível de Atendimento à Demanda: 0,4% (dentro do intervalo de confiança)

Percentual de Extravasamento: 0,3% (dentro do intervalo de confiança)

DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **BELO HORIZONTE/MG**

Nome do posto pluviométrico: BELO HORIZONTE (HORTO)
Código ANA: 1943055
Disponibilidade: 1961 a 2011 (32 anos – 15,8% de falhas)
População (IBGE - 2010): 2.375.444 hab



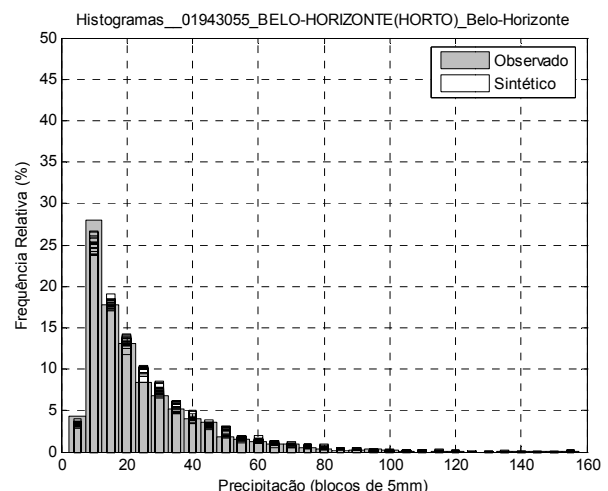
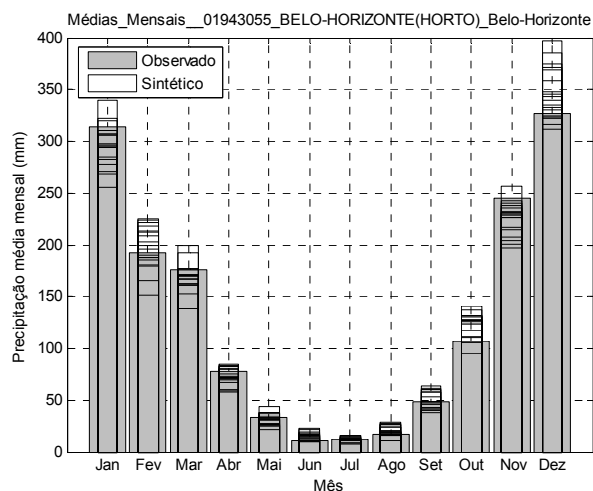
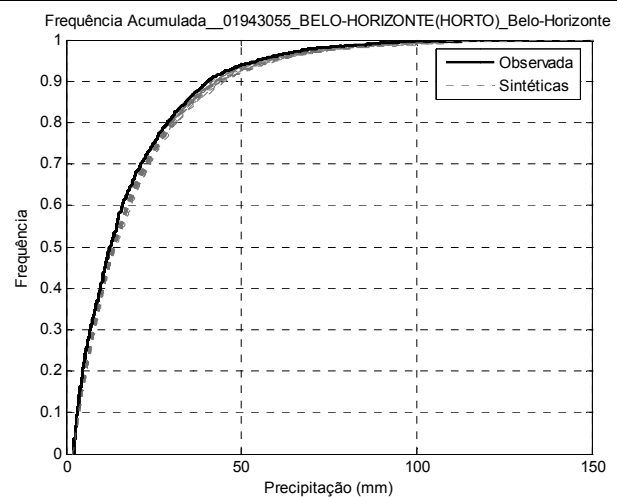
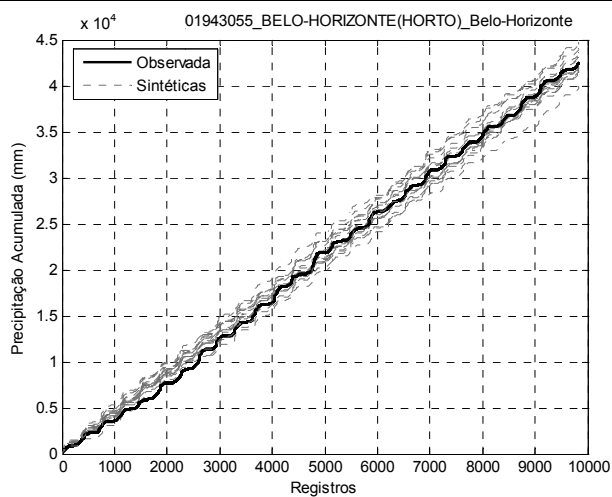
Belo Horizonte/MG
Lat. 19°54'S Long.38°36'W
Altitude: 850m

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	314	192	176	78	33	12	12	17	49	108	245	327
Média Sintética	301	197	168	74	31	15	12	20	50	122	224	346

Precipitação Média anual: 1.563mm (observada) 1.561mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

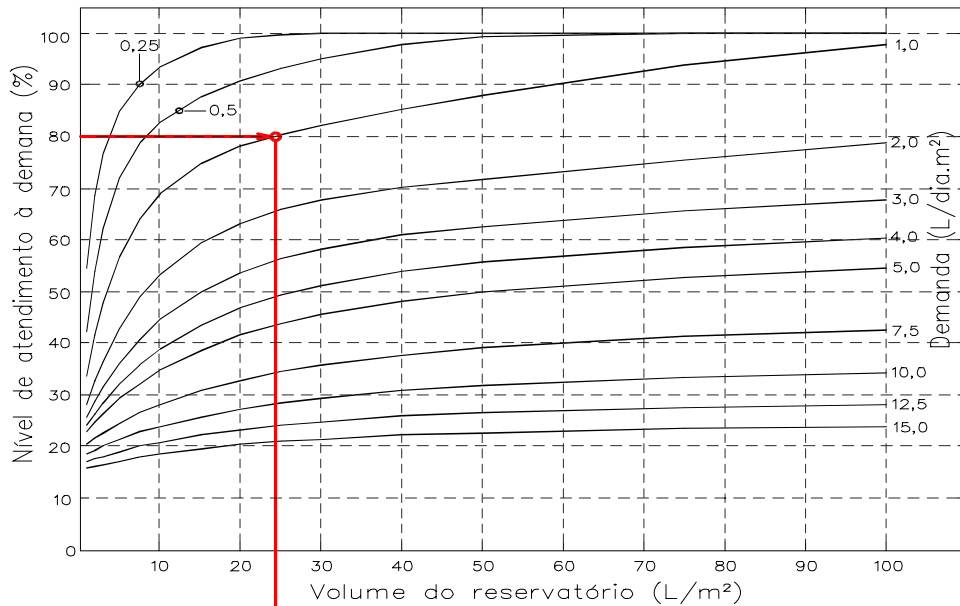
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $150L/dia$

$Du=1,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

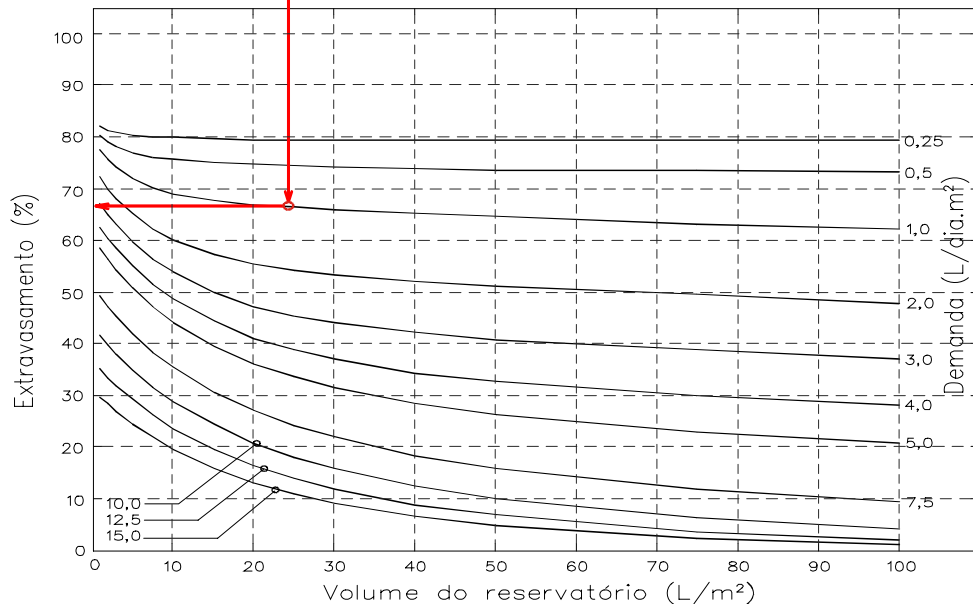
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 24,5L/m^2 \times 150m^2 = 3.675L$

% de extravasamento = **67%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



Instruções e exemplo para uso das tabelas:

- 1º Saber área de captação (A) em m²;
 - 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
 - 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
 - 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)
- Obs. Nas tabelas os limites (superior e inferior) são referentes ao intervalo de confiança para 90% de significância.

Exemplo:

Área de captação = 150m² de telhado, Demanda por água não potável = 150L/dia

Du=1,0L/dia.m² - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo e=80%

Resultado: Volume do reservatório => interpolando entre 79,6% (25L/m²) e 81,4% (30L/m²) Vu =26,1/m²

$$Vu \times A = 38,3L/m^2 \times 150m^2 = 3.920L$$

% de extravasamento => interpolando entre 66,3% (25L/m²) e 65,8% (30L/m²) => **66,2%**

DIMENSIONAMENTO

ATENDIMENTO À DEMANDA

Demanda em (L/dia.m²)

Volume do reservatório (L/m ²)	Demanda em (L/dia.m ²)												
	0,25	0,5	1	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15	15	15
1	52,3	40,2	32,0	26,4	24,1	22,6	21,4	19,1	17,4	16,0	14,8		
	53,7	41,2	32,7	27,1	24,7	23,2	21,9	19,6	17,9	16,4	15,1		
	55,0	42,2	33,5	27,7	25,3	23,7	22,5	20,1	18,3	16,8	15,5		
2	66,4	51,9	39,6	31,0	27,1	24,8	23,1	20,2	18,2	16,5	15,1		
	68,1	53,2	40,6	31,8	27,8	25,4	23,7	20,7	18,6	16,9	15,5		
	69,8	54,5	41,6	32,5	28,4	26,1	24,3	21,3	19,1	17,4	15,9		
3	74,0	59,8	45,7	34,6	29,9	26,8	24,8	21,2	18,8	17,0	15,5		
	75,9	61,3	46,8	35,4	30,6	27,5	25,4	21,8	19,3	17,5	15,9		
	77,9	62,8	48,0	36,3	31,4	28,2	26,0	22,3	19,8	17,9	16,3		
5	82,2	69,4	54,6	40,8	34,3	30,4	27,7	23,1	20,1	17,9	16,2		
	84,4	71,2	55,9	41,8	35,1	31,1	28,4	23,7	20,6	18,4	16,6		
	86,5	73,0	57,3	42,8	36,0	31,9	29,1	24,2	21,1	18,8	17,0		
7,5	87,7	76,0	61,8	46,7	38,8	34,0	30,6	25,1	21,5	18,9	16,9		
	89,9	78,0	63,3	47,8	39,8	34,8	31,3	25,7	22,0	19,4	17,4		
	92,1	80,0	64,8	49,0	40,8	35,6	32,0	26,3	22,6	19,9	17,8		
10	91,2	80,0	66,5	51,1	42,4	36,9	33,0	26,6	22,6	19,8	17,5		
	93,2	82,1	68,2	52,4	43,5	37,8	33,8	27,3	23,2	20,3	18,0		
	95,3	84,2	69,8	53,7	44,6	38,7	34,6	27,9	23,8	20,8	18,5		
15	95,5	84,9	72,0	57,1	47,8	41,4	36,8	29,2	24,5	21,1	18,6		
	97	87,2	74,0	58,5	49,0	42,4	37,7	30,0	25,1	21,7	19,1		
	98,5	89,5	76,0	59,9	50,1	43,5	38,7	30,7	25,7	22,2	19,6		
20	98,1	88,3	75,2	60,8	51,4	44,6	39,6	31,2	25,9	22,2	19,4		
	98,9	90,5	77,3	62,3	52,6	45,8	40,6	32,0	26,6	22,8	19,9		
	99,7	92,7	79,4	63,8	53,9	46,9	41,6	32,8	27,2	23,3	20,4		
25	99,2	91,0	77,4	63,2	54,0	47,1	41,8	32,8	27,1	23,0	20,0		
	99,7	93	79,6	64,9	55,3	48,2	42,9	33,6	27,7	23,6	20,5		
	100	95	81,8	66,5	56,6	49,4	43,9	34,5	28,4	24,2	21,1		
30	99,7	93,3	79,2	64,9	55,9	49,0	43,5	34,1	28,0	23,7	20,5		
	99,9	95,1	81,4	66,7	57,2	50,2	44,6	34,9	28,7	24,3	21,0		
	100	96,8	83,6	68,4	58,5	51,3	45,7	35,8	29,4	24,9	21,6		
40	99,9	96,7	82,3	67,3	58,5	51,8	46,2	36,1	29,5	24,7	21,2		
	100	97,9	84,5	69,1	59,9	52,9	47,2	36,9	30,1	25,3	21,8		
	100	99	86,7	70,9	61,3	54,0	48,3	37,8	30,8	26,0	22,4		
50	99,9	98,7	85,1	69,0	60,3	53,6	48,0	37,6	30,5	25,4	21,7		
	100	99,3	87,2	70,9	61,7	54,8	49,1	38,4	31,2	26,1	22,3		
	100	100	89,4	72,8	63,2	55,9	50,1	39,2	31,9	26,7	22,9		
75	99,9	99,9	91,8	72,6	63,2	56,4	50,9	39,8	32,0	26,4	22,3		
	100	100	93,4	74,5	64,7	57,7	51,9	40,7	32,8	27,1	23,0		
	100	100	95	76,4	66,2	59,0	53,0	41,5	33,6	27,9	23,7		
100	99,9	99,9	96,6	76,0	65,6	58,4	52,6	41,0	32,8	26,9	22,6		
	100	100	97,7	77,9	67,1	59,7	53,7	42,0	33,7	27,7	23,4		
	100	100	98,7	79,8	68,5	61,0	54,9	43,0	34,6	28,5	24,1		

EXTRAVASAMENTO

Demanda em (L/dia.m²)

Volume do reservatório (L/m ²)	Demanda em (L/dia.m ²)													Limite (inf.)	Média (%)	Limite (sup.)
	0,25	0,5	1	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15	15	15			
1	82,0	80,2	77,2	71,9	67,0	62,4	58,1	48,8	41,1	34,7	29,4					
	82,2	80,5	77,5	72,4	67,6	63,2	59,1	50,1	42,5	36,2	30,9					
	82,3	80,7	77,9	72,9	68,3	64,0	60,1	51,3	43,9	37,7	32,5					
2	81,1	78,7	75,3	69,6	64,7	60,1	55,9	46,8	39,3	33,0	27,9					
	81,3	79,0	75,7	70,2	65,4	61,0	57,0	48,1	40,7	34,6	29,5					
	81,5	79,3	76,1	70,8	66,2	61,9	58,0	49,4	42,2	36,2	31,1					
3	80,6	77,7	73,7	67,7	62,5	58,0	53,8	44,9	37,5	31,5	26,6					
	80,8	78,0	74,2	68,4	63,4	59,0	55,0	46,2	39,0	33,1	28,2					
	81,1	78,4	74,6	69,1	64,2	60,0	56,1	47,6	40,6	34,7	29,7					
5	80,1	76,5	71,4	64,6	59,2	54,4	50,1	41,4	34,4	28,7	24,1					
	80,3	76,9	72,0	65,3	60,1	55,5	51,4	42,8	35,9	30,3	25,7					
	80,6	77,3	72,6	66,1	61,1	56,7	52,6	44,3	37,5	31,9	27,3					
7,5	79,7	75,6	69,5	61,5	55,7	50,7	46,5	37,7	30,9	25,6	21,3					
	80,0	76,0	70,2	62,4	56,8	52,0	47,9	39,2	32,6	27,3	23,0					
	80,3	76,5	70,9	63,4	57,9	53,2	49,2	40,8	34,3	28,9	24,6					
10	79,5	75,1	68,3	59,2	52,8	47,7	43,3	34,7	28,0	22,9	18,9					
	79,8	75,5	69,0	60,3	54,1	49,1	44,8	36,3	29,7	24,6	20,6					
	80,1	76,0	69,8	61,3	55,3	50,5	46,3	38,0	31,5	26,4	22,3					
15	79,3	74,4	66,8	56,1	48,7	43,1	38,5	29,6	23,3	18,6	15,1					
	79,6	74,9	67,6	57,3	50,2	44,7	40,1	31,5	25,2	20,4	16,8					
	79,8	75,4	68,4	58,5	51,6	46,3	41,8	33,3	27,1	22,2	18,5					
20	79,2	74,0	66,0	54,2	45,9	39,7	34,8	25,8	19,7	15,4	12,2					
	79,4	74,5	66,8	55,5	47,5	41,5	36,7	27,8	21,6	17,2	13,9					
	79,7	75,0	67,7	56,8	49,1	43,2	38,5	29,8	23,6	19,0	15,5					
25	79,1	73,7	65,4	52,9	43,9	37,2	32,0	22,8	16,8	12,8	10,0					
	79,4	74,2	66,3	54,2	45,6	39,1	34,0	24,9	18,8	14,6	11,6					
	79,6	74,7	67,1	55,6	47,3	40,9	36,0	27,0	20,9	16,4	13,2					
30	79,1	73,4	64,9	51,9	42,4	35,3	29,8	20,4	14,6	10,8	8,2					
	79,3	73,9	65,8	53,4	44,2	37,2	31,9	22,5	16,6	12,6	9,8					
	79,6	74,5	66,7	54,8	45,9	39,2	33,9	24,7	18,5	14,3	11,3					
40	79,1	73,1	64,1	50,6	40,3	32,5	26,6	16,7	11,1	7,8	5,6					
	79,3	73,6	65,1	52,2	42,2	34,6	28,7	18,9	13,1	9,4	7,0					
	79,6	74,1	66,0	53,7	44,1	36,6	30,8	21,1	15,0	11,1	8,5					
50	79,1	72,9	63,4	49,7	38,9	30,6	24,4	14,1	8,7	5,6	3,8					
	79,3	73,4	64,4	51,3	40,9	32,8	26,5	16,3	10,6	7,2	5,2					
	79,5	73,9	65,3	52,9	42,9	34,9	28,7	18,5	12,5	8,9	6,5					
75	79,0	72,8	61,9	47,8	36,6	27,6	20,7	10,2	4,9	2,6	1,4					
	79,2	73,2	62,8	49,5	38,7</											

DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **BOA VISTA/RR**

Nome do posto pluviométrico: FAZENDA-CASTELÃO
Código ANA: 8260003
Disponibilidade: 1989 a 2011 (17 anos – 14,6% de falhas)
População (IBGE - 2010): 284.258 hab

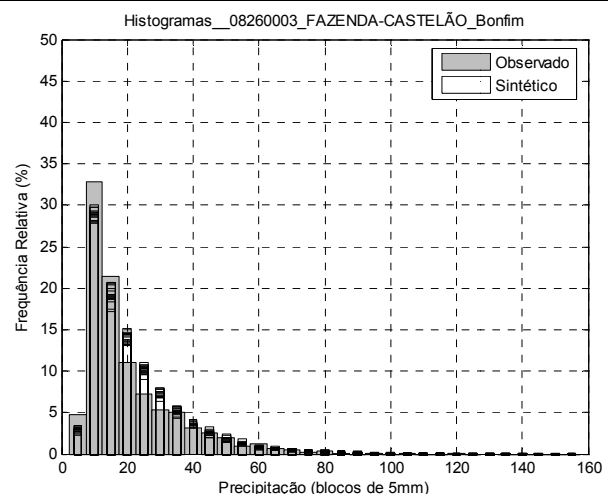
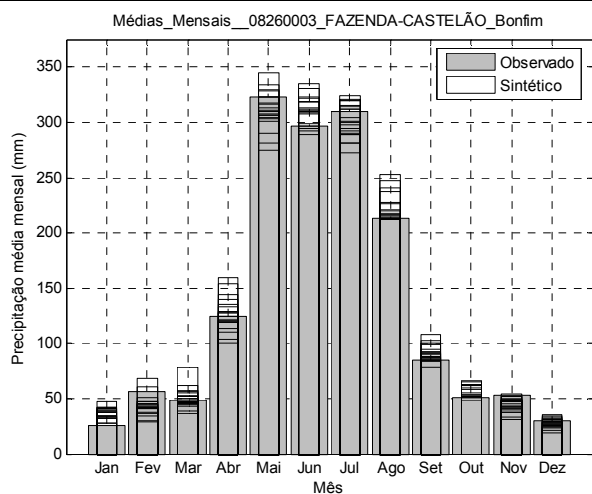
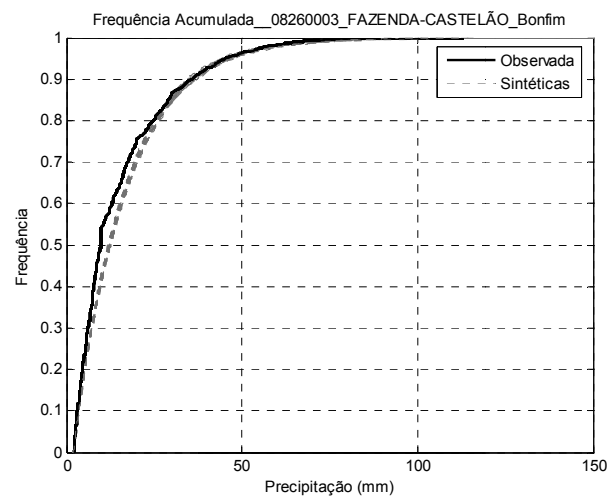
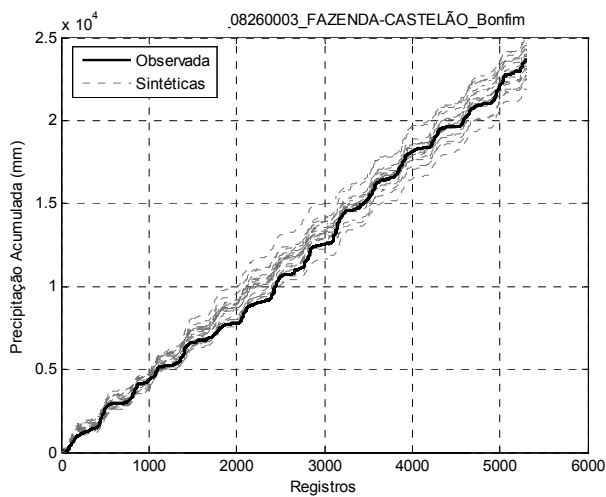
Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).



Boa Vista/RR
Lat. 2°45'38"N Long.60°19'30"W
Altitude: 105m

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	26	57	49	124	323	297	310	213	85	52	53	30
Média Sintética	37	44	51	127	311	311	301	222	91	57	45	28
Precipitação Média anual:	1.619mm (observada)						1.625mm (sintética)					



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

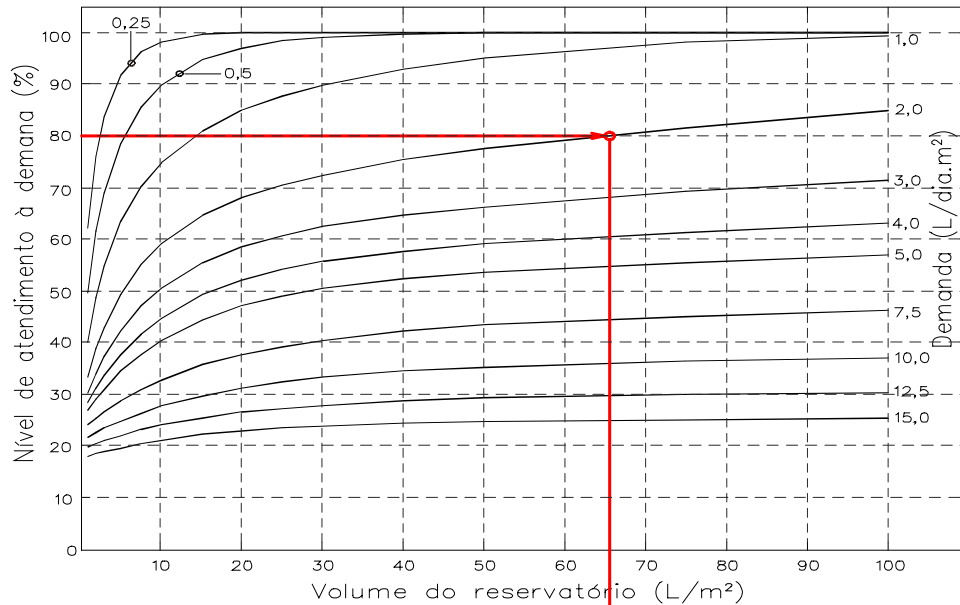
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

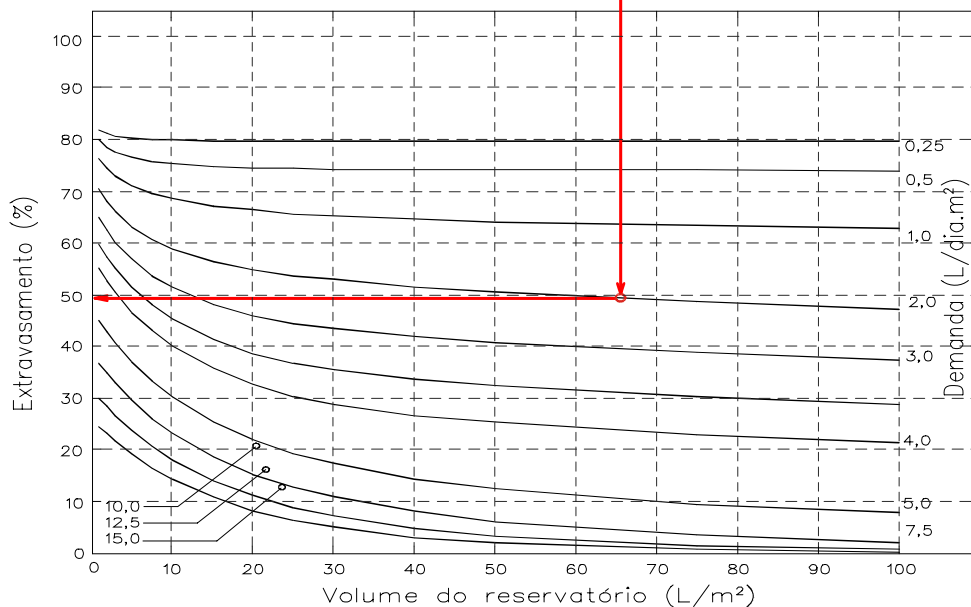
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 66,0L/m^2 \times 150m^2 = 9.900L$

% de extravasamento = **49%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



Instruções e exemplo para uso das tabelas:

- 1º Saber área de captação (A) em m²;
 - 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
 - 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
 - 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)
- Obs. Nas tabelas os limites (superior e inferior) são referentes ao intervalo de confiança para 90% de significância.

Exemplo:

Área de captação = 150m² de telhado, Demanda por água não potável = 300L/dia
 Du=2,0L/dia.m² - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo e=80%
Resultado: Volume do reservatório => interpolando entre 77,4% (50L/m²) e 81,4% (75L/m²) Vu=66,3L/m²
 Vu x A = 53,4L/m² x 150m² = **9.940L**
 % de extravasamento => interpolando entre 50,6% (50L/m²) e 48,8% (75L/m²) => **49,4%**

DIMENSIONAMENTO

ATENDIMENTO À DEMANDA

Demanda em (L/dia.m²)

EXTRAVASAMENTO

Demanda em (L/dia.m²)

Volume do reservatório (L/m²)	1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15	81,8	79,7	76,1	70,1	64,4	59,2	54,4	44,1	35,7	29,0	23,5	Limite (inf.)																					
		60,7	48,4	39,2	32,4	29,6	27,8	26,3	23,4	21,1	19,2	17,6													81,9	79,8	76,4	70,5	64,9	59,8	55,1	45,0	36,8	30,0	24,5	Média (%)									
	2	63,6	50,8	41,1	34,1	31,1	29,2	27,6	24,6	22,2	20,2	18,6	82,0	80,0	76,6	70,8	65,4	60,5	55,9	46,0	37,8	31,1	25,5	81,0	78,3	74,2	67,5	61,9	56,7	52,0	41,8	33,7	27,3	22,0	Limite (sup.)										
		74,4	60,1	47,5	37,9	33,2	30,4	28,3	24,6	21,9	19,8	18,0	81,1	78,5	74,5	67,9	62,5	57,4	52,8	42,8	34,8	28,3	23,0																						
	3	77,4	62,8	49,8	39,8	34,8	31,9	29,7	25,9	23,1	20,9	19,0	81,2	78,7	74,7	68,4	63,1	58,1	53,6	43,8	35,8	29,3	24,1	80,6	77,4	72,7	65,6	59,5	54,4	49,7	39,8	31,9	25,7	20,7	80,7	77,6	73,1	66,1	60,2	55,2	50,6	40,8	33,0	26,7	21,7
		81,9	67,5	53,6	41,8	36,5	32,8	30,2	25,8	22,7	20,3	18,4	80,8	77,8	73,4	66,7	60,9	56,0	51,4	41,8	34,0	27,7	22,7	80,1	76,8	73,0	66,8	60,9	56,0	51,4	41,8	34,0	27,7	22,7											
	5	85,2	70,5	56,2	43,9	38,3	34,4	31,7	27,1	24,0	21,5	19,4	80,1	76,4	70,8	62,6	56,1	50,6	45,7	36,0	28,6	22,8	18,2	80,0	76,6	71,1	63,2	56,9	51,5	46,6	37,1	29,6	23,8	19,2	80,4	76,8	71,5	63,8	57,7	52,4	47,6	38,2	30,7	24,8	20,2
		90,1	76,8	61,9	48,3	41,3	36,8	33,7	29,9	24,1	21,3	19,1	80,2	76,6	71,1	63,2	56,9	51,5	46,6	37,1	29,6	23,8	19,2																						
	7,5	93,4	80,2	64,9	50,5	43,2	38,6	35,3	29,4	25,5	22,5	20,2	79,8	75,5	69,2	60,0	52,9	46,9	41,9	32,0	25,0	19,6	15,5	80,0	75,8	69,6	60,6	53,7	47,9	43,1	33,2	26,1	20,7	16,5											
		95,1	83,5	68,5	53,9	45,9	40,7	36,8	30,2	25,7	22,4	19,8	80,2	76,1	70,0	61,2	54,6	48,9	44,2	34,3	27,2	21,8	17,5																						
	10	97,5	87,2	71,8	56,4	48,1	42,6	38,6	31,8	27,1	23,7	21,0	79,7	75,0	68,2	58,1	50,4	44,1	38,8	28,9	22,0	17,0	13,3	79,9	75,3	68,6	58,8	51,3	45,2	40,0	30,2	23,1	18,1	14,3											
		99,1	91,7	76,6	60,6	51,8	45,7	41,4	33,6	28,5	24,6	21,7	80,1	75,6	69,0	59,4	52,2	46,3	41,2	31,4	24,3	19,2	15,3																						
	15	99,5	92,8	78,7	63,0	54,1	47,9	43,2	34,7	28,9	24,7	21,5	79,6	74,4	66,8	55,7	47,1	40,1	34,3	24,0	17,5	13,0	9,7	79,8	74,7	67,2	56,4	48,0	41,2	35,6	25,3	18,7	14,1	10,8											
		100	96,4	83,0	66,2	56,8	50,3	45,4	36,6	30,5	26,1	22,8	80,0	75,1	67,7	57,1	48,9	42,4	36,9	26,6	19,9	15,2	11,8																						
	20	99,5	95,5	82,3	66,2	57,0	50,7	45,8	36,7	30,3	25,7	22,2	79,5	74,1	65,8	54,1	45,0	37,4	31,3	20,6	14,1	10,0	7,2	79,8	74,5	66,3	54,8	45,9	38,6	32,6	21,9	15,3	11,1	8,3											
		100	98,5	87,2	69,9	60,1	53,5	48,2	38,7	32,1	27,2	23,6	80,0	74,8	66,9	55,5	46,8	39,7	33,9	23,3	16,6	12,2	9,3																						
	25	99,6	97,0	85,0	68,5	59,1	52,7	47,7	38,2	31,4	26,4	22,7	79,5	73,9	65,2	52,9	43,5	35,6	29,1	18,0	11,5	7,7	5,4	79,7	74,3	65,7	53,7	44,4	36,8	30,4	19,3	12,8	8,9	6,4											
		100	99,6	90,1	72,5	62,4	55,6	50,3	40,3	33,2	28,1	24,2	79,9	74,7	66,3	54,5	45,4	37,9	31,7	20,6	14,1	10,0	7,4																						
	30	99,6	98,0	87,1	70,3	60,7	54,1	49,0	39,4	32,3	27,0	23,1	79,5	73,8	64,6	52,0	42,3	34,2	27,5	15,9	9,5	6,1	4,0	79,7	74,2	65,2	52,8	43,4	35,4	28,8	17,3	10,8	7,1	5,0											
		100	100	92,2	74,5	64,1	57,1	51,7	41,5	34,1	28,7	24,6	79,9	74,6	65,8	53,6	44,4	36,6	30,0	18,6	12,1	8,2	5,9																						
40	99,6	99,1	90,3	73,0	62,9	56,1	51,0	41,0	33,5	27,8	23,6	79,5	73,7	63,9	50,7	40,8	32,4	25,3	13,1	6,8	3,8	2,3	79,7	74,1	64,5	51,6	41,8	33,6	26,6	14,3	8,0	4,8	3,1												
	100	100	95,2	77,5	66,4	59,1	53,7	43,3	35,4	29,6	25,2	79,9	74,6	65,2	52,4	42,9	34,8	27,9	15,6	9,2	5,7	3,9																							
50	99,6	99,5	92,6	75,0	64,4	57,5	52,2	42,2	34,3	28,3	23,9	79,5	73,7	63,3	49,7	39,6	31,1	23,8	11,1	5,0	2,4	1,3	79,7	74,1	64,0	50,6	40,8	32,4	25,2	12,4	6,1	3,3	1,9												
	100	100	97,2	79,8	68,0	60,5	54,9	44,5	36,3	30,2	25,6	79,9	74,5	64,7	51,5	41,9	33,7	26,6	13,7	7,2	4,1	2,6																							
75	99,6	99,5	96,5	79,0	67,2	59,7	54,2	43,8	35,4	28,9	24,2	79,4	73,6	62,5	47,8	37,6	29,0	21,5	8,1	2,4	0,8	0,3	79,6	74,0	63,2	48,8	38,8	30,4	23,0	9,5	3,4	1,4	0,7												
	100	100	99,8	83,9	71,0	62,7	56,9	46,3	37,6	30,9	26,0	79,9	74,5	64,0	49,7	40,0	31,7	24,5	10,9	4,4	2,0	1,1																							
100	99,6	99,5	98,5	82,4	69,7	61,5	55,7	44,8	35,9	29,1	24,3	79,4	73,6	62,1	46,2	35,9	27,3	19,8	6,3	1,2	0,2	0,0	79,6	74,0	62,9	47,2	37,2	28,7	21,3	7,7	2,1	0,6	0,3												
	100	100	100	87,3	73,4	64,6	58,4	47,3	38,3	31,3	26,2	79,8	74,4	63,7	48,3	38,4	30,2	22,9	9,2	3,0	1,1	0,5																							

Erros médios relativos em relação à simulação com a série observada

Nível de Atendimento à Demanda: -2,8% (fora do intervalo de confiança)

Percentual de Extravasamento: -4,5% (dentro do intervalo de confiança)

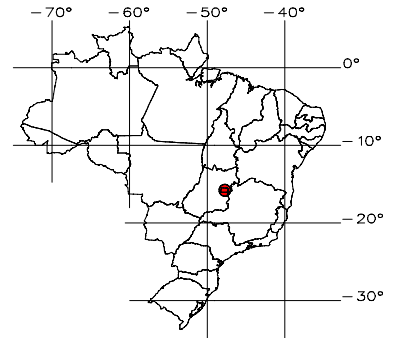


DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **BRÁSÍLIA/DF**

Nome do posto pluviométrico: BRASILIA
Código ANA: 1547004
Disponibilidade: 1961 a 2011 (51 anos – 1,8% de falhas)
População (IBGE - 2010): 2.562.963hab

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

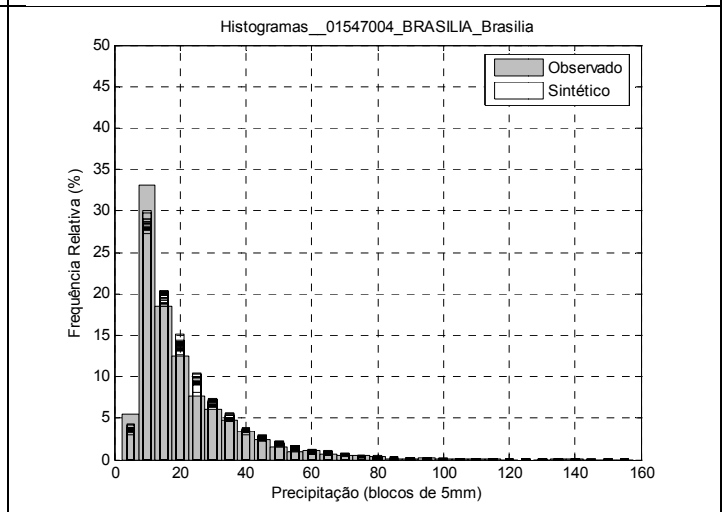
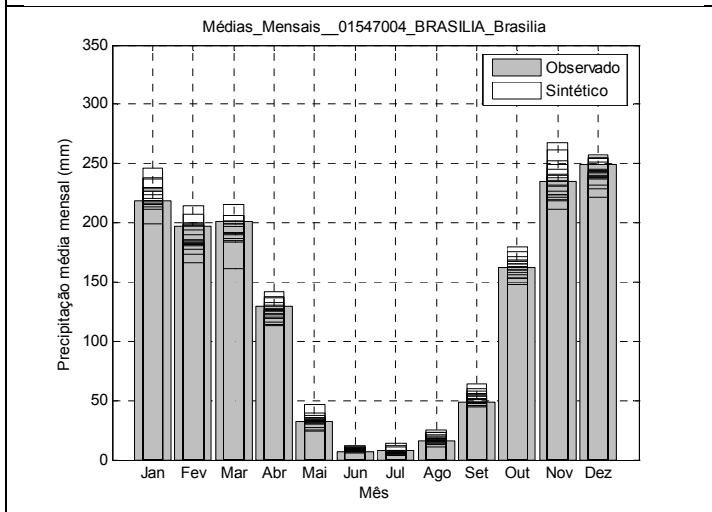
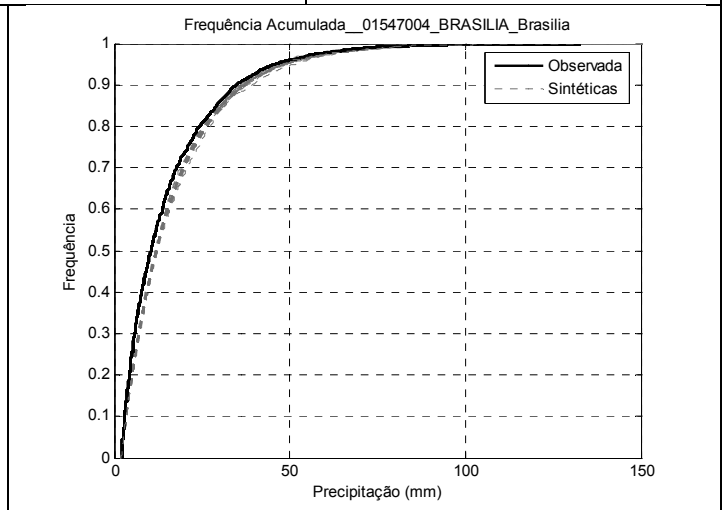
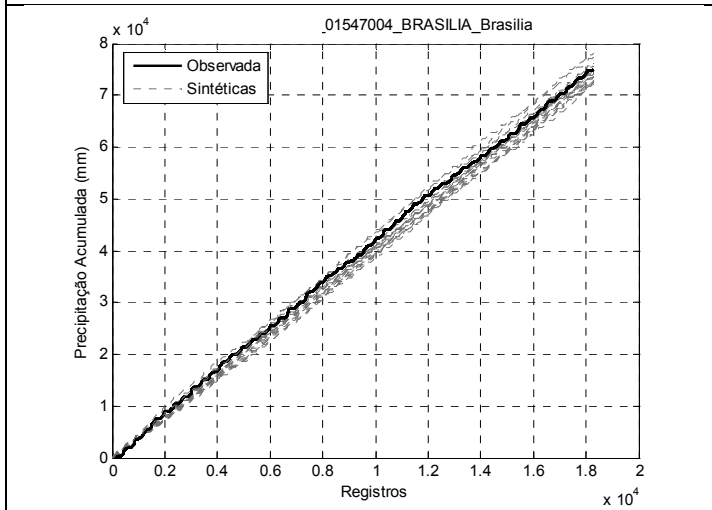


Brasília/DF
Lat. 15°47'24"S Long.47°55'22"W
Altitude: 1.160m

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	218	197	201	130	33	6	7	16	49	162	235	249
Média Sintética	223	189	193	126	33	8	7	17	52	161	235	243

Precipitação Média anual: 1.504mm (observada) 1.486mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

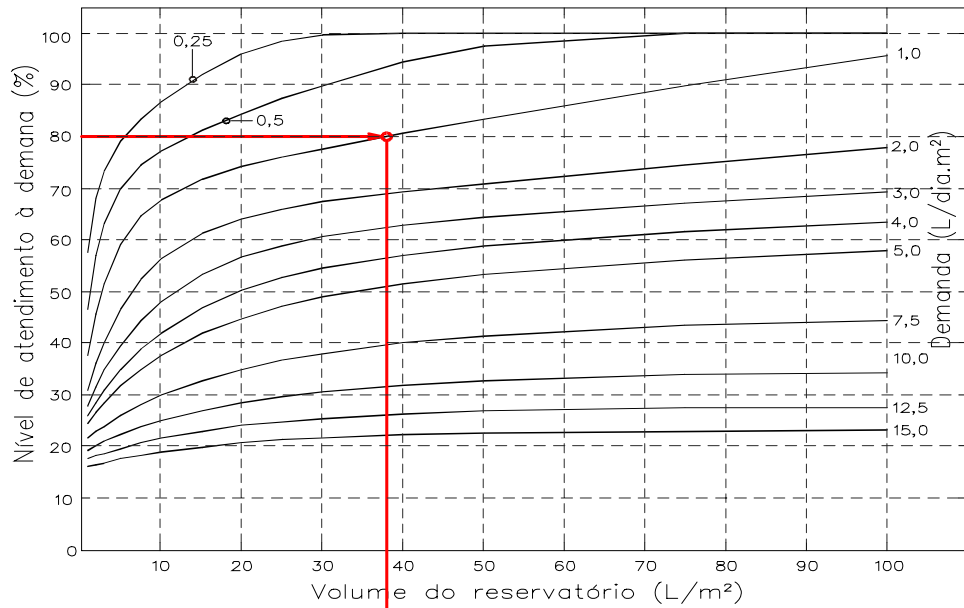
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $150L/dia$

$Du=1,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

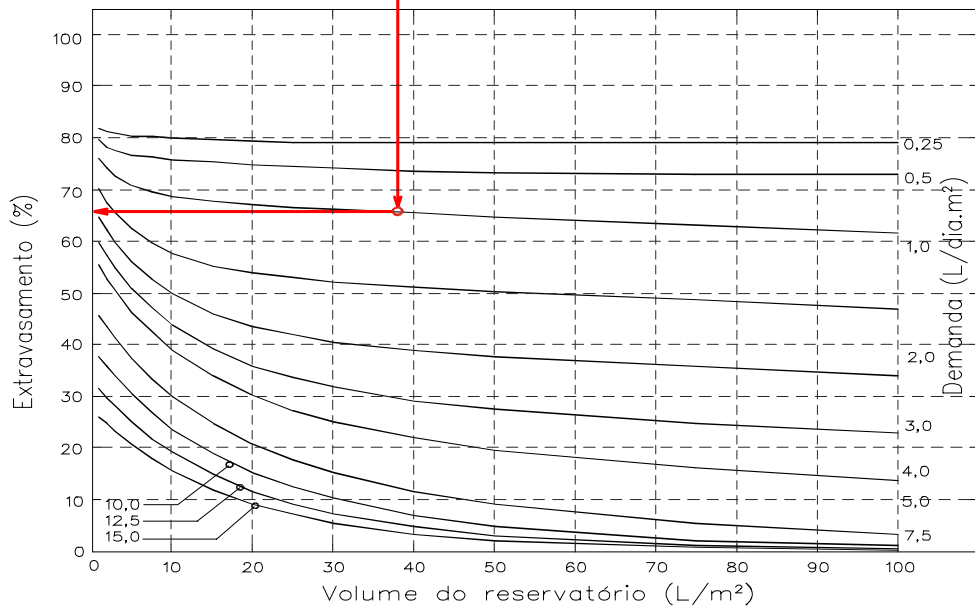
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 38,0L/m^2 \times 150m^2 = 5.700L$

% de extravasamento = **66%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **CAMPO GRANDE/MS**

Nome dos postos pluviométricos: DNOS-8DRS
Código ANA: 2054014
Disponibilidade: 1976 a 2006 (31 anos – 35,0% de falhas)
População (IBGE - 2010): 787.204 hab

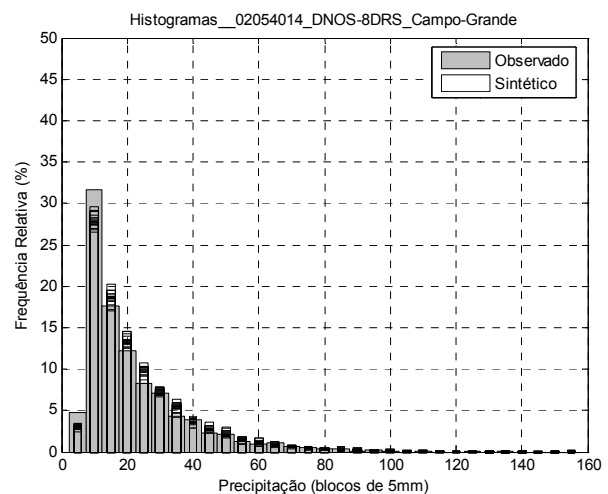
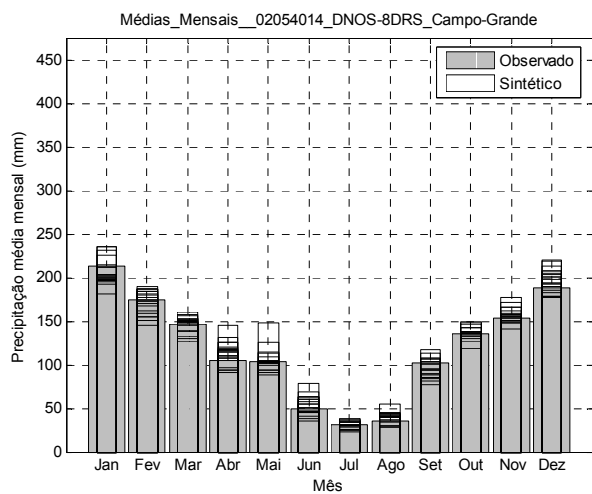
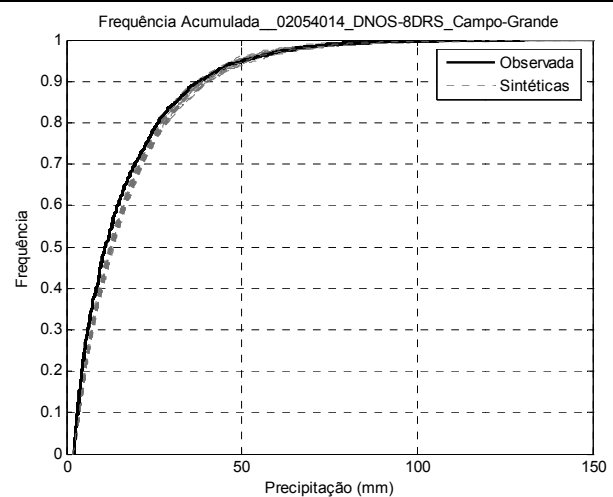
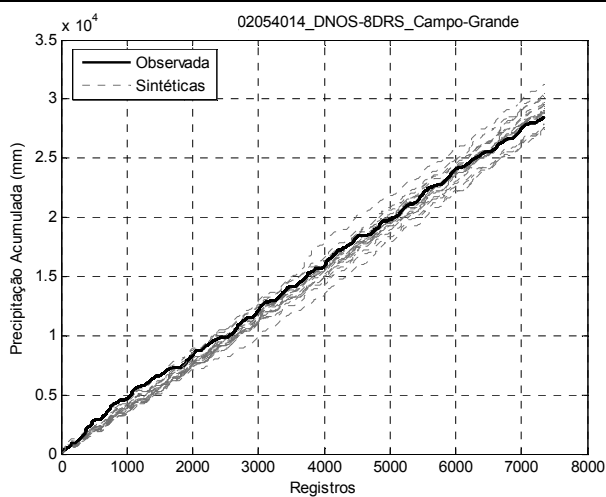
Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).



Campo Grande/MS
Lat. 20°27'06"S Long.54°37'39"W
Altitude: 562m

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	207	172	147	114	105	54	31	39	97	137	157	197
Média Sintética	213	175	147	105	103	49	31	35	102	135	153	188
Precipitação Média anual:						1.437mm (observada)			1.455mm (sintética)			



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

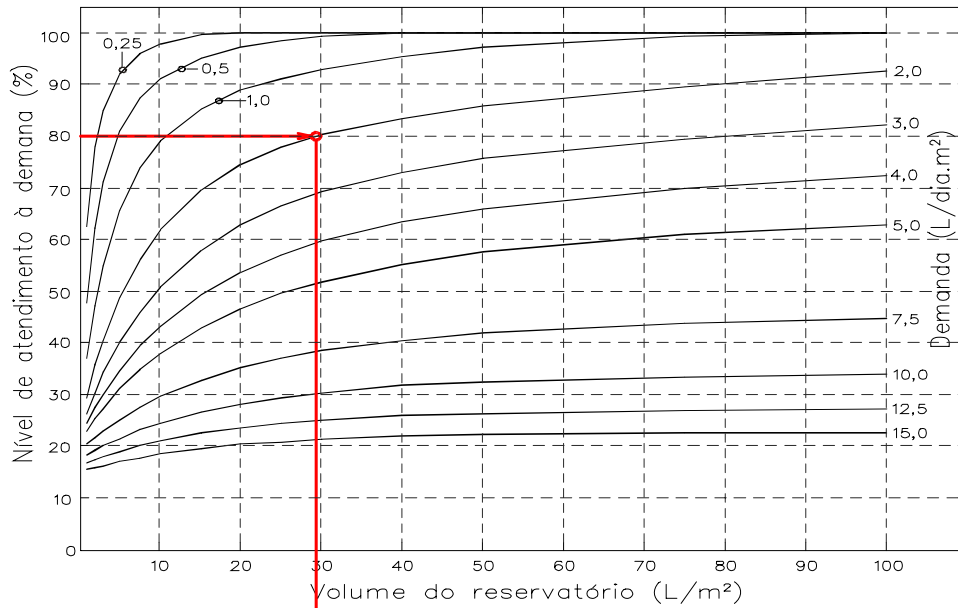
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

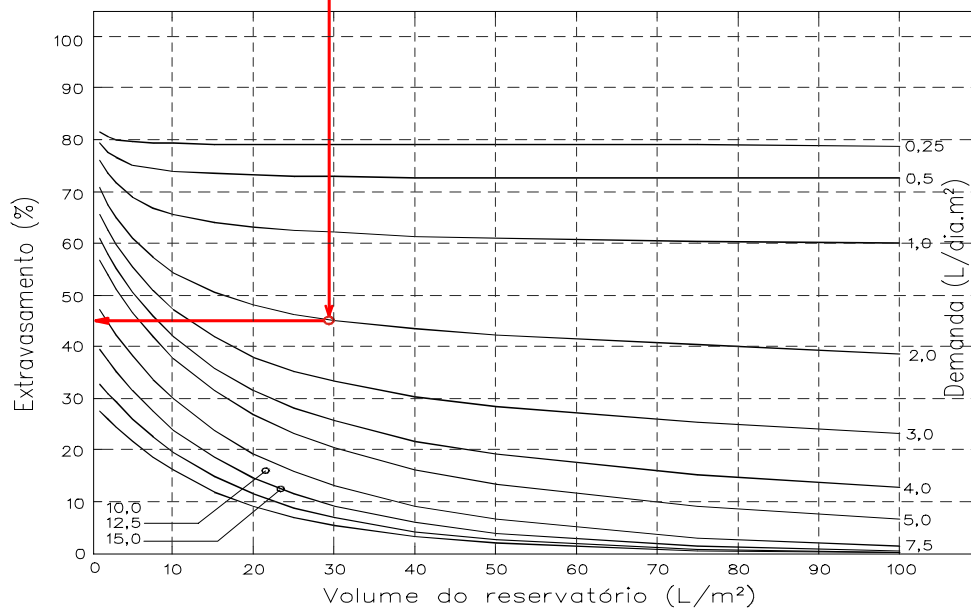
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 29,5L/m^2 \times 150m^2 = 4.425L$

% de extravasamento = **45%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



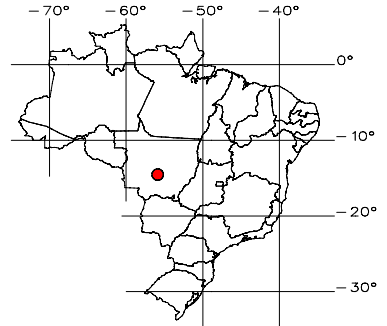
DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO





DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL
Município: **CUIABÁ/MT**

Nome dos postos pluviométricos: CUIABÁ
Códigos ANA: 1556002
Disponibilidade: 1911 a 1989 (65 anos – 7,6% de falhas)
População (IBGE - 2010): 551.350 hab

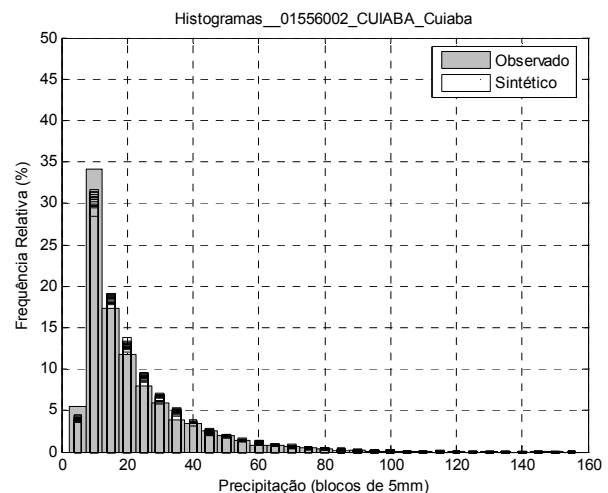
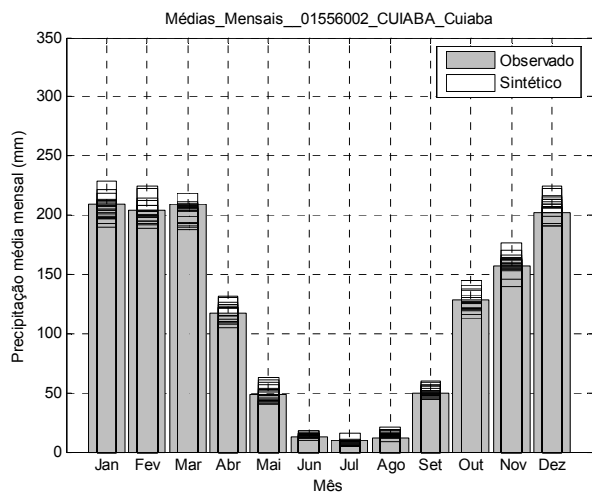
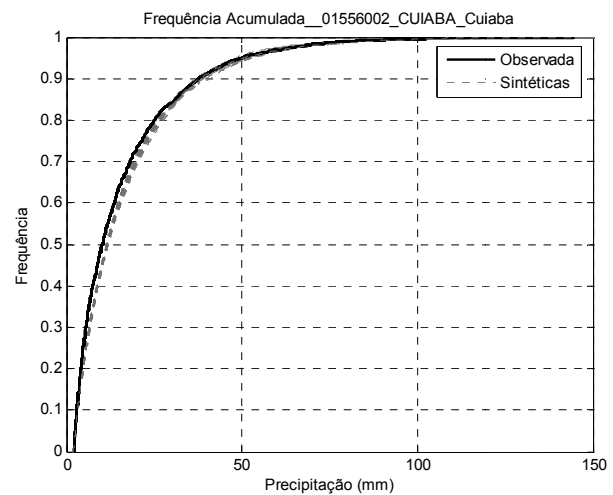
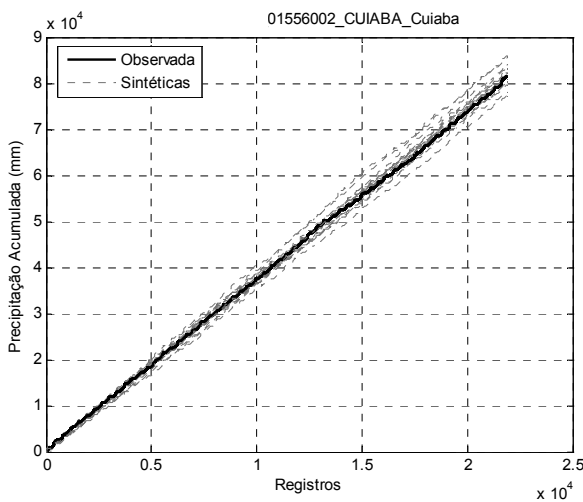


Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	209	204	209	117	48	13	10	12	49	128	157	202
Média Sintética	206	203	203	118	49	14	8	15	51	127	159	208
Precipitação Média anual:	1.361mm (observada)						1.361mm (sintética)					

Cuiabá/MT
Lat. 15°37'18"S Long.56°06'30"W
Altitude: 145m



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

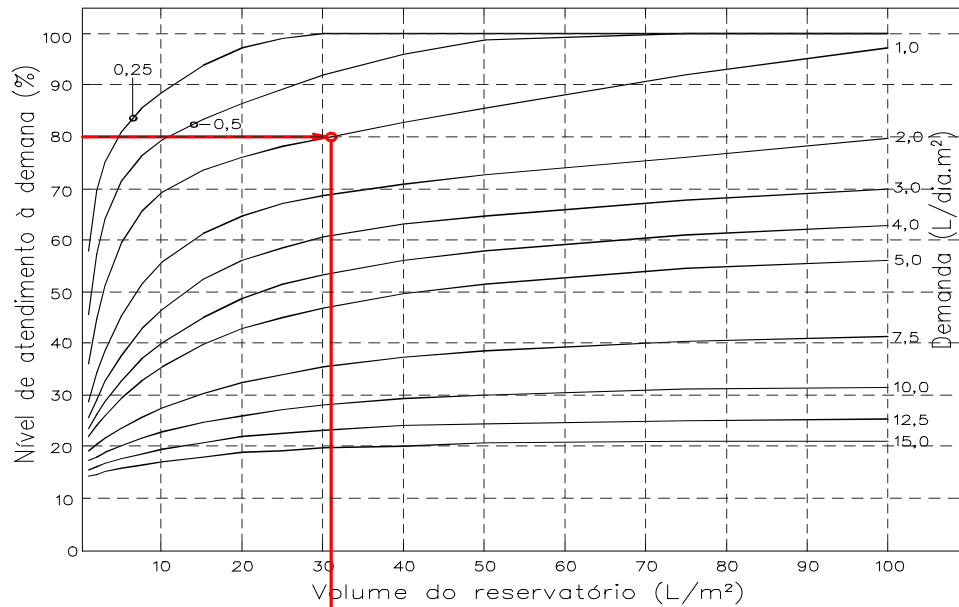
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $150L/dia$

$Du=1,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

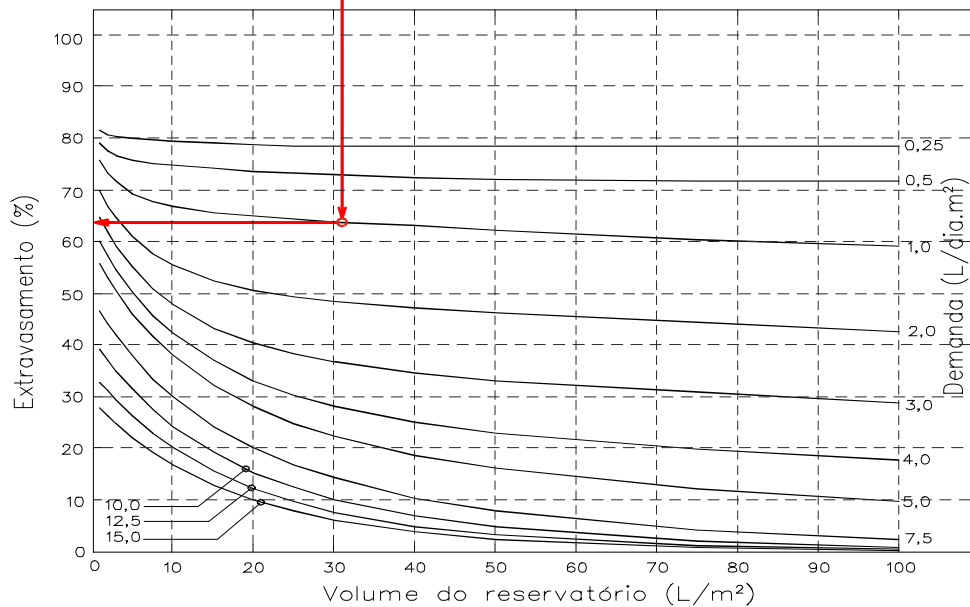
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 31,0L/m^2 \times 150m^2 = 4.650L$

% de extravasamento = **64%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO

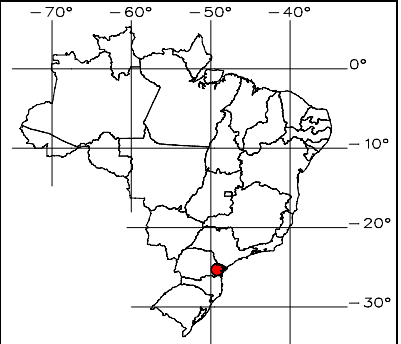




DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **CURITIBA/PR**

Nome do posto pluviométrico: CURITIBA
Código ANA: 2549006
Disponibilidade: 1900 a 2011 (113 anos – 6,6% de falhas)
População (IBGE - 2010): 1.746.896 hab

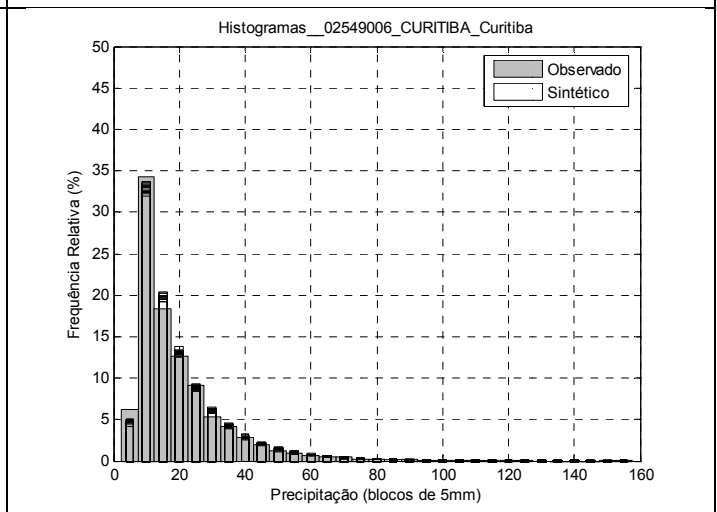
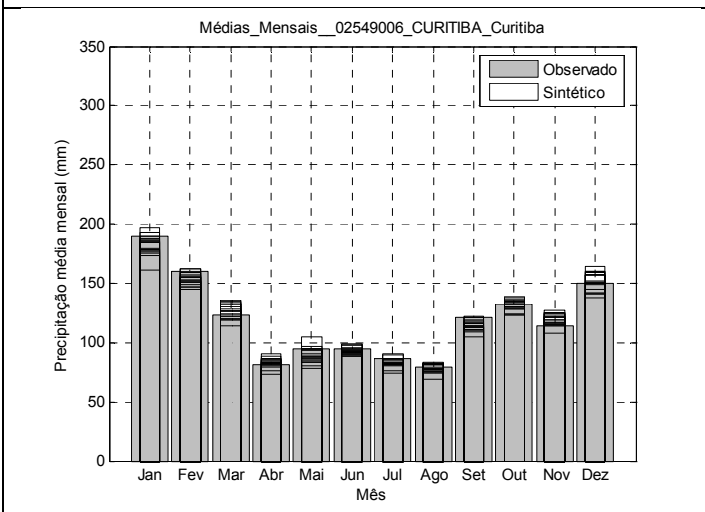
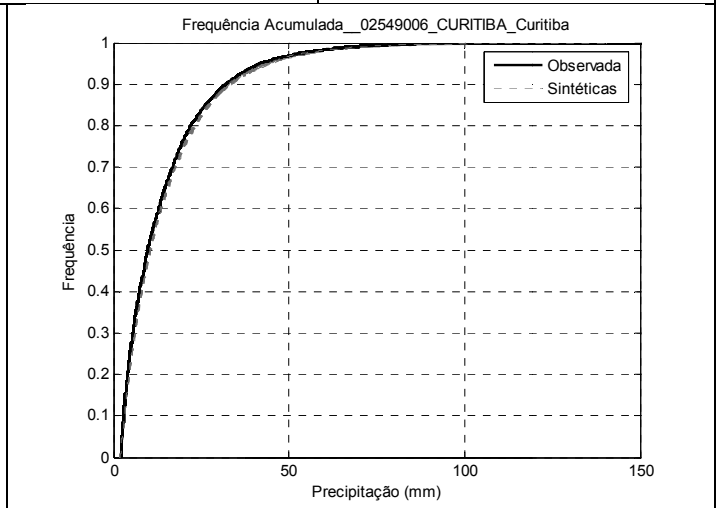
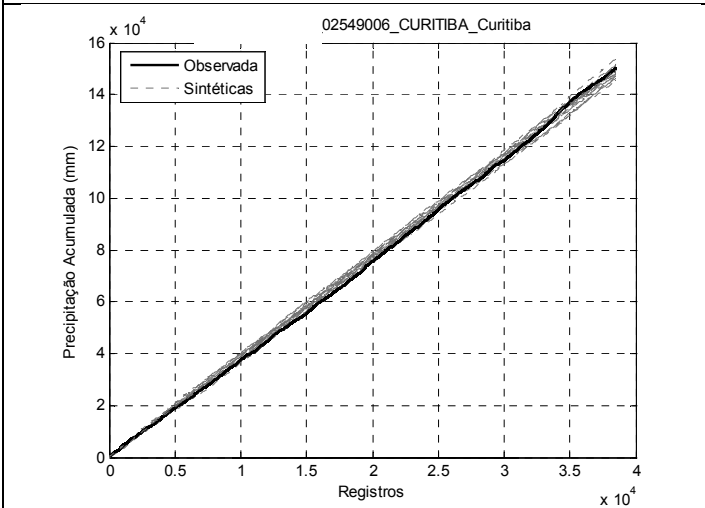


Curitiba/PR
Lat. 25°26' S Long.49°16' W
Altitude: 924m

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	190	160	123	81	94	95	86	80	121	133	114	150
Média Sintética	183	154	127	83	90	94	83	79	116	131	120	152
Precipitação Média anual:	1.427mm (observada)						1.411mm (sintética)					



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

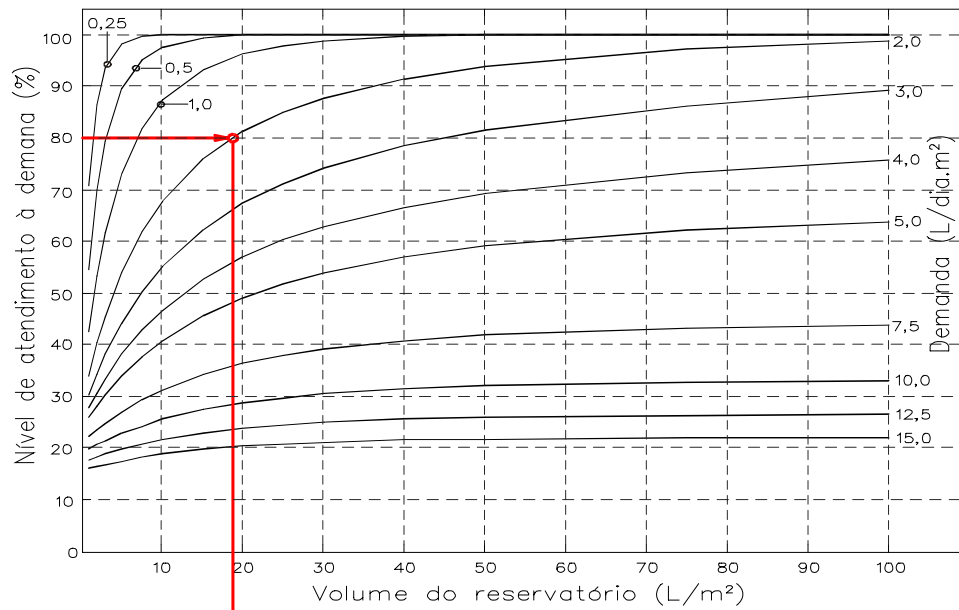
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

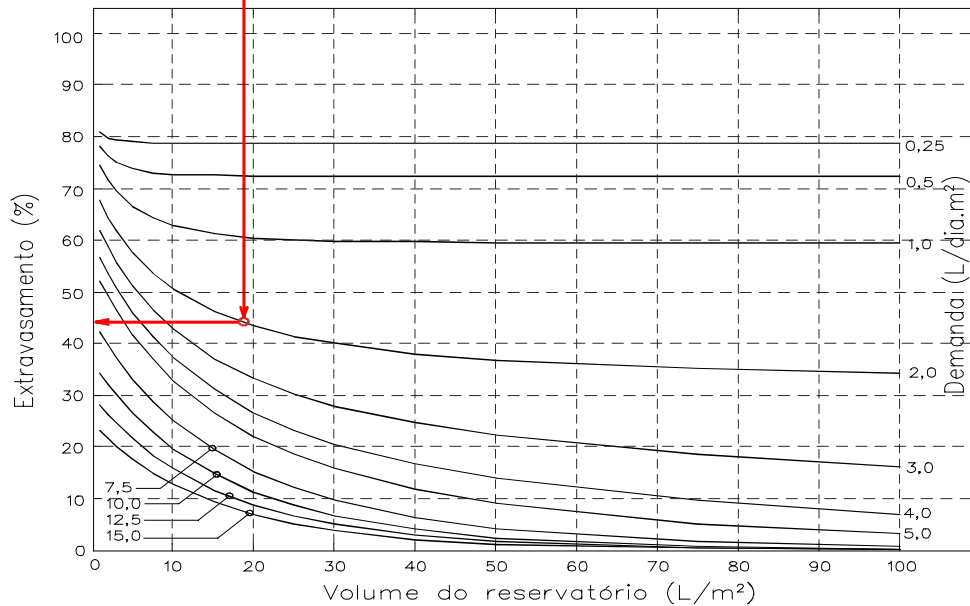
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 18,5L/m^2 \times 150m^2 = 2.775L$

% de extravasamento = **44%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



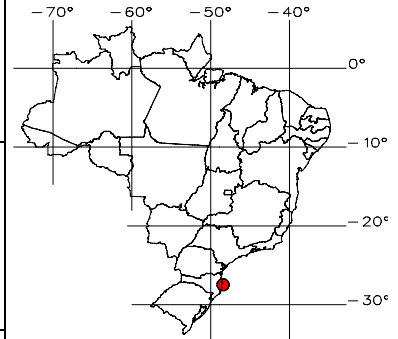
DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO





DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL
Município: **FLORIANÓPOLIS/SC**

Nome do posto pluviométrico: PALHOÇA
Código ANA: 02748004
Disponibilidade: 1945 a 2011 (21 anos – 66,7% de falhas)
População (IBGE - 2010): 421.203 hab

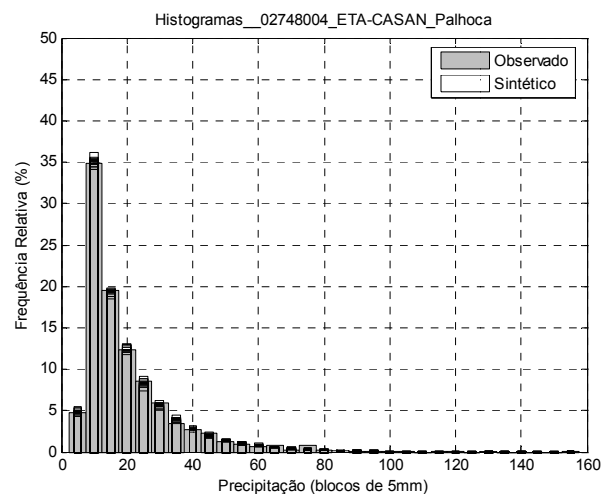
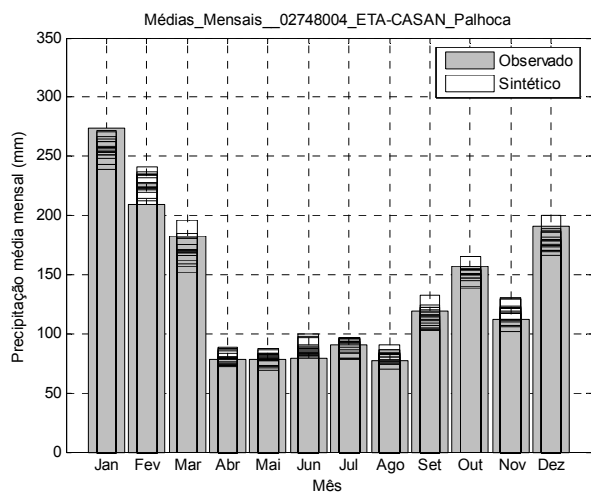
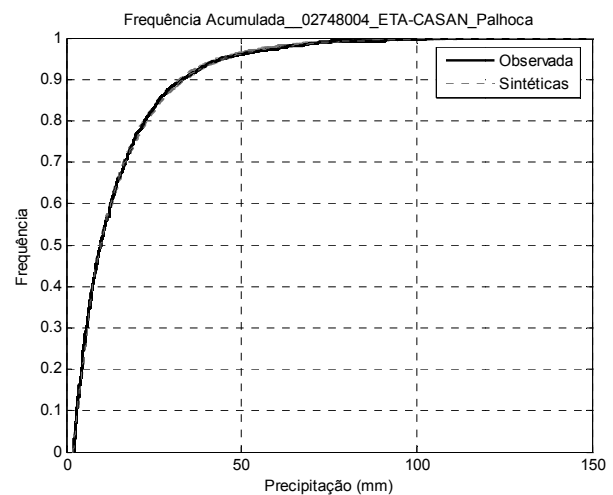
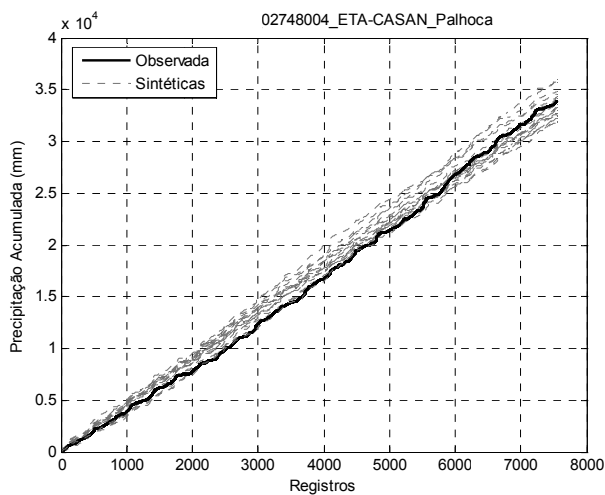


Florianópolis/SC
Lat. 27°41'34"S Long.48°42'35"W
Altitude: 20m

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	274	209	182	78	78	80	91	77	119	158	112	191
Média Sintética	254	227	174	80	78	84	92	78	115	150	118	181
Precipitação Média anual:	1.648mm (observada)						1.630mm (sintética)					



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

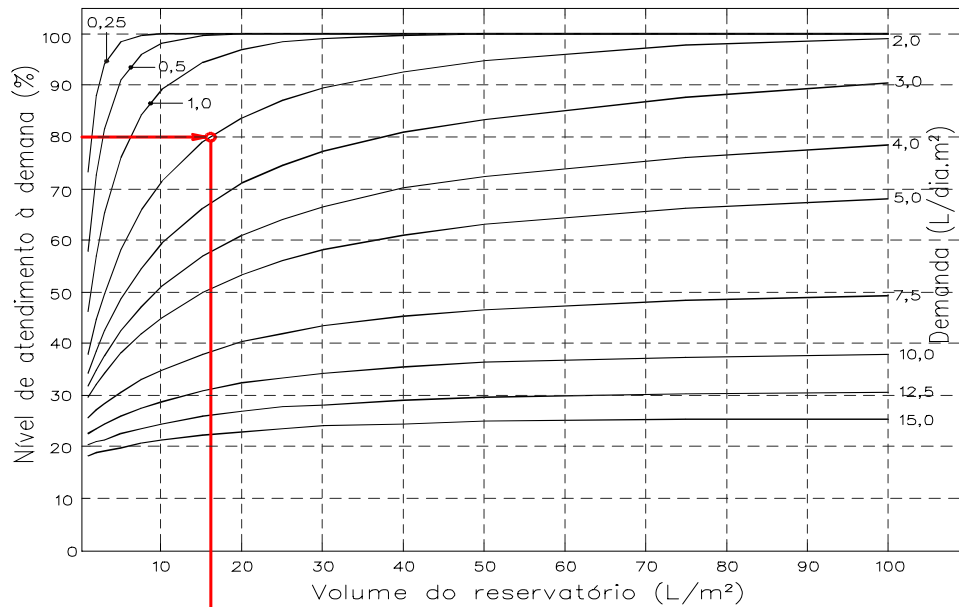
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

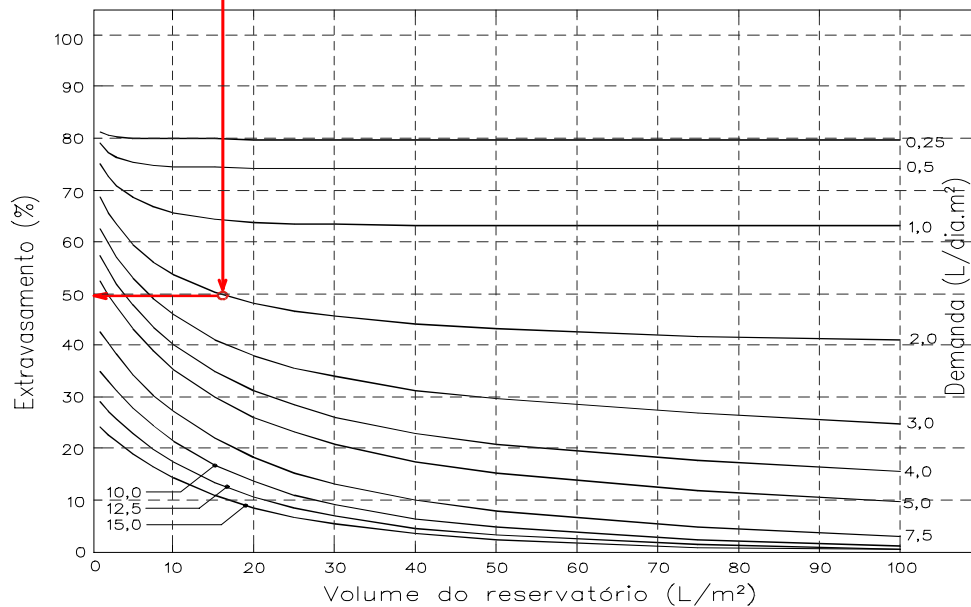
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 16,0L/m^2 \times 150m^2 = 2.400L$

% de extravasamento = **49%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



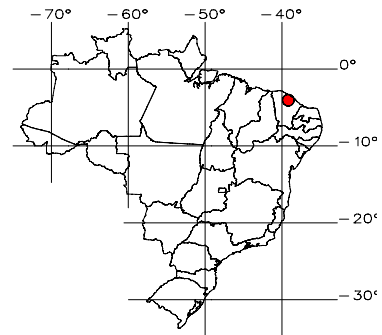
DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **FORTALEZA/CE**

Nome do posto pluviométrico: PIC1
Código ANA: 338001
Disponibilidade: 1919 a 2011 (93 anos – 2,8% de falhas)
População (IBGE - 2010): 2.447.409hab



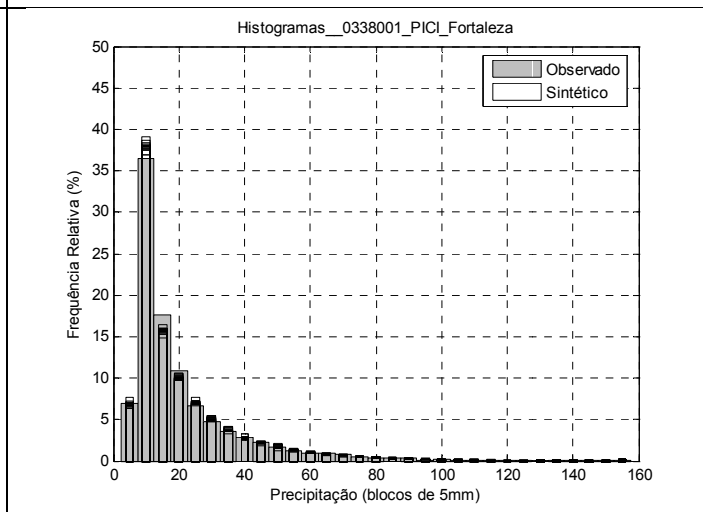
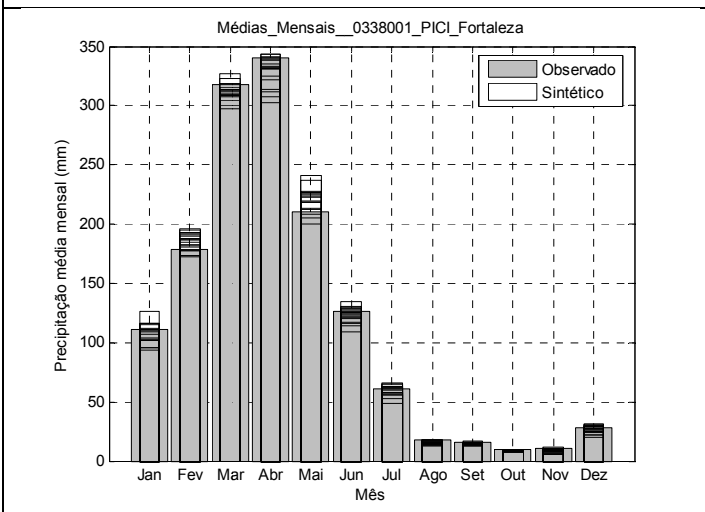
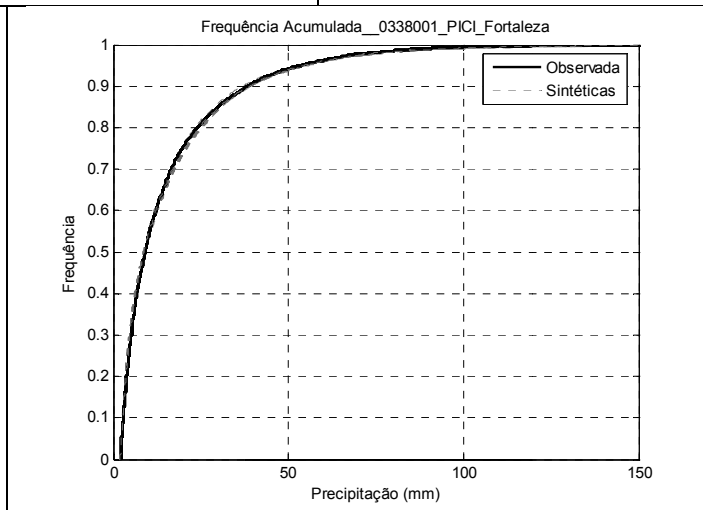
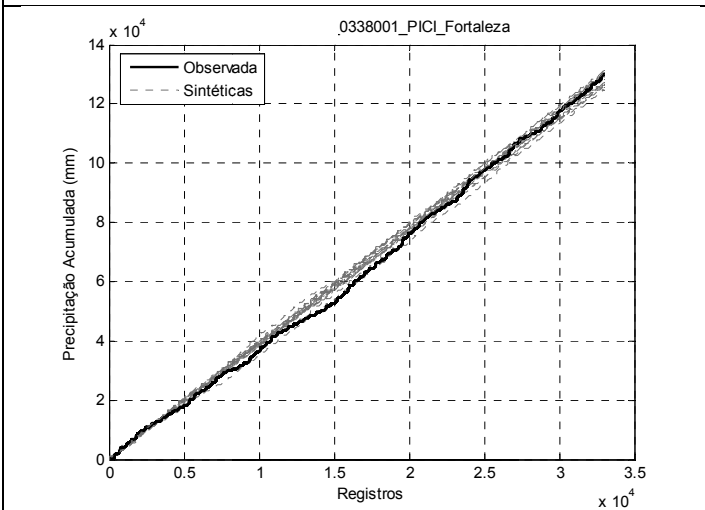
Fortaleza/CE
Lat. 3°45'S Long.38°35'W
Altitude: 40m

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	111	178	318	340	210	126	60	18	16	10	11	28
Média Sintética	107	185	312	329	221	124	60	15	15	9	8	27

Precipitação Média anual: 1.427mm (observada) 1.411mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

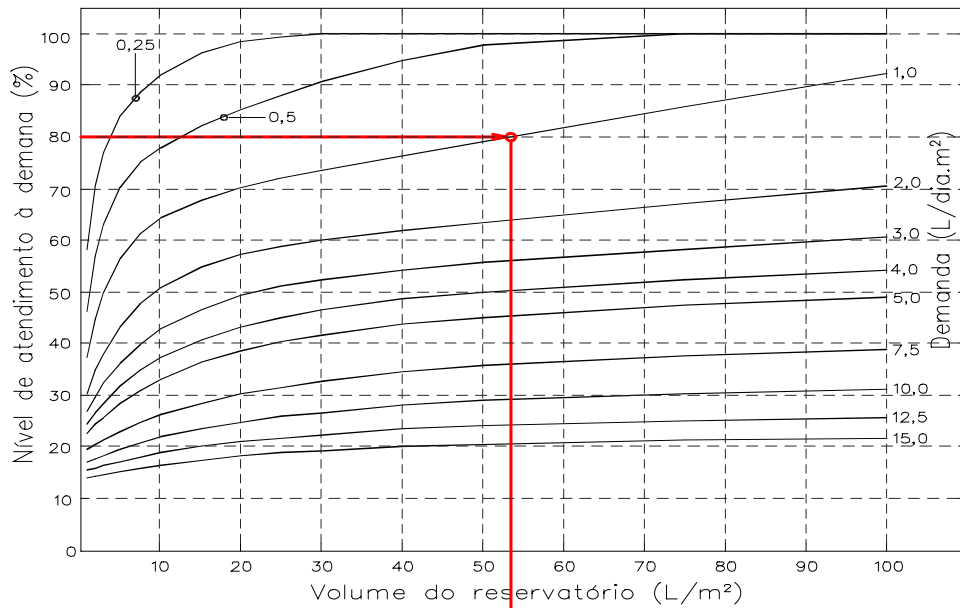
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $150L/dia$

$Du=1,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

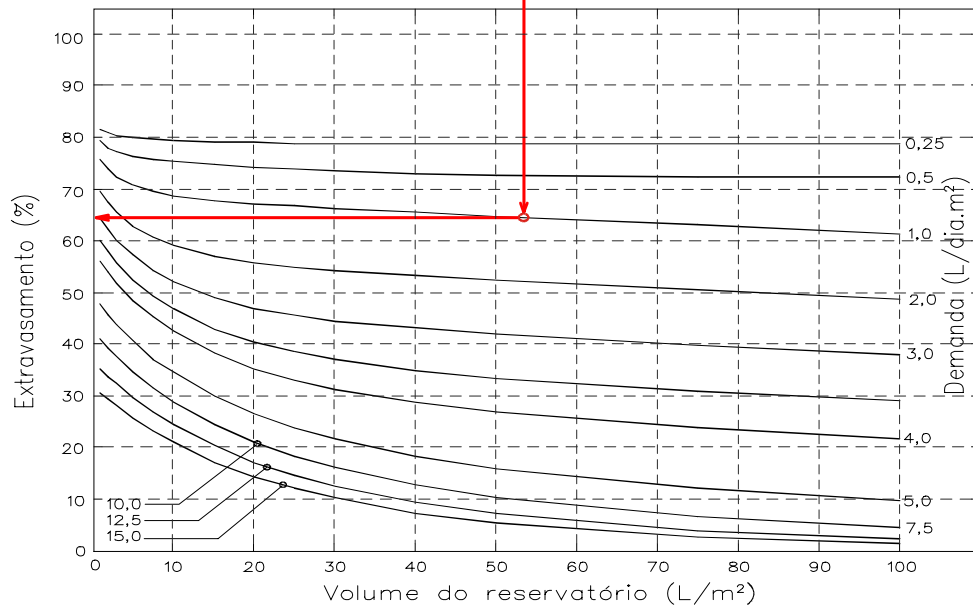
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 53,0L/m^2 \times 150m^2 = 7.950L$

% de extravasamento = **65%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO

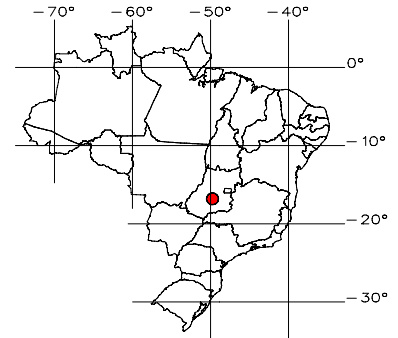




DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **GOIÂNIA/GO**

Nome do posto pluviométrico: GOIANIA
Código ANA: 1649013
Disponibilidade: 1949 a 1998 (50 anos – 0,7% de falhas)
População (IBGE - 2010): 1.301.892 hab



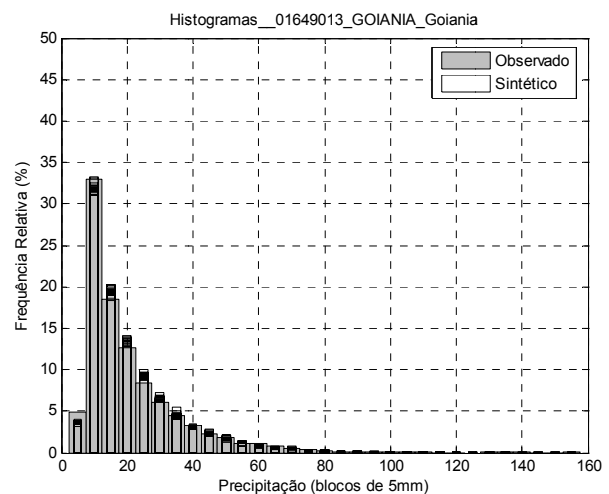
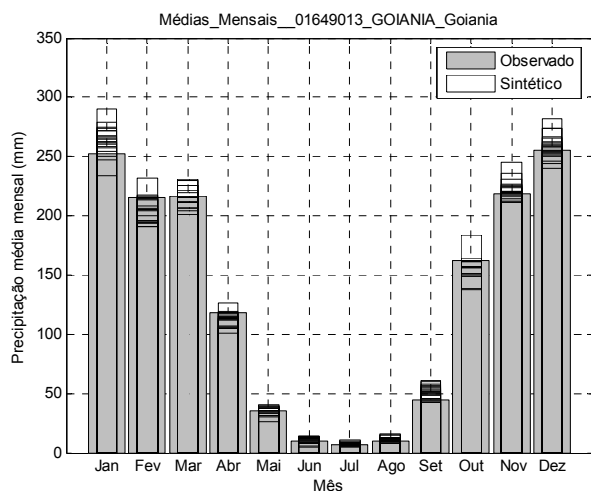
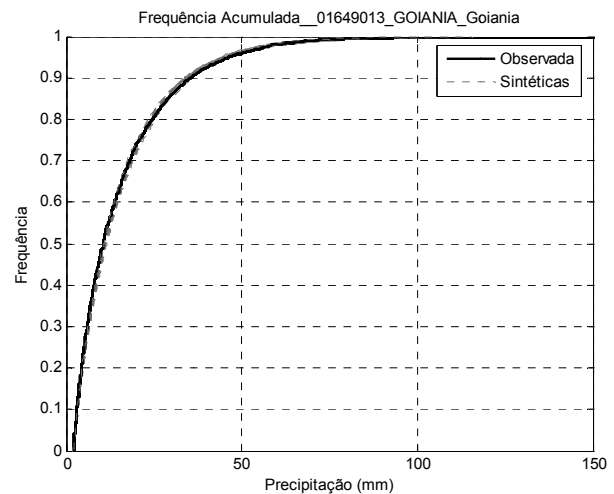
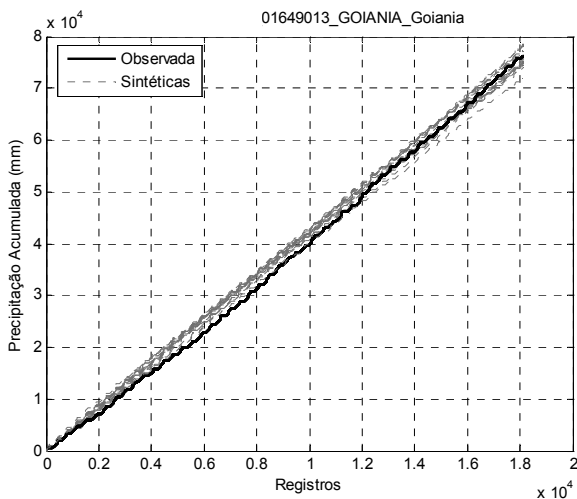
Goiânia/GO
Lat. 16°40'25"S Long.49°15'50"W
Altitude: 770m

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	252	215	216	118	36	10	7	10	45	162	219	256
Média Sintética	255	206	214	113	33	11	7	11	48	156	221	257

Precipitação Média anual: 1.546mm (observada) 1.532mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

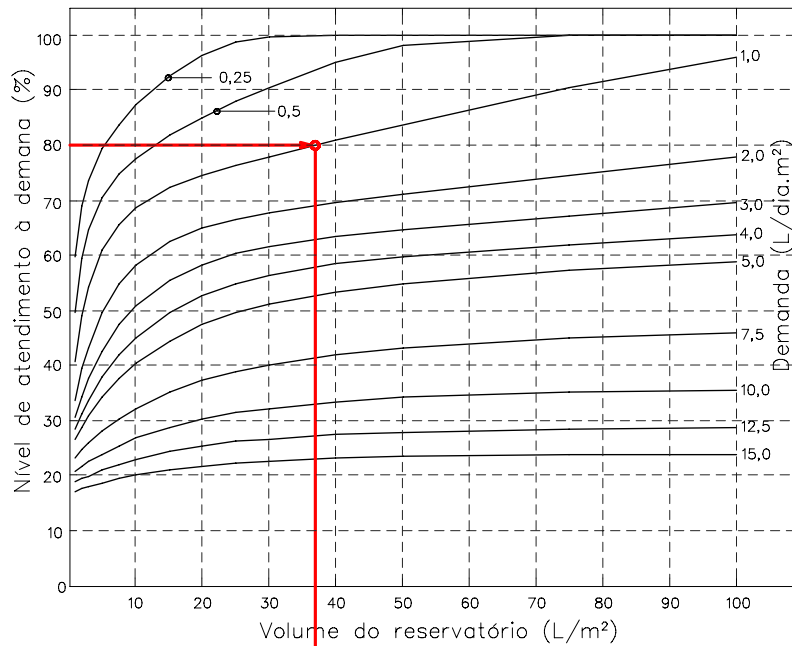
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $150L/dia$

$Du=1,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

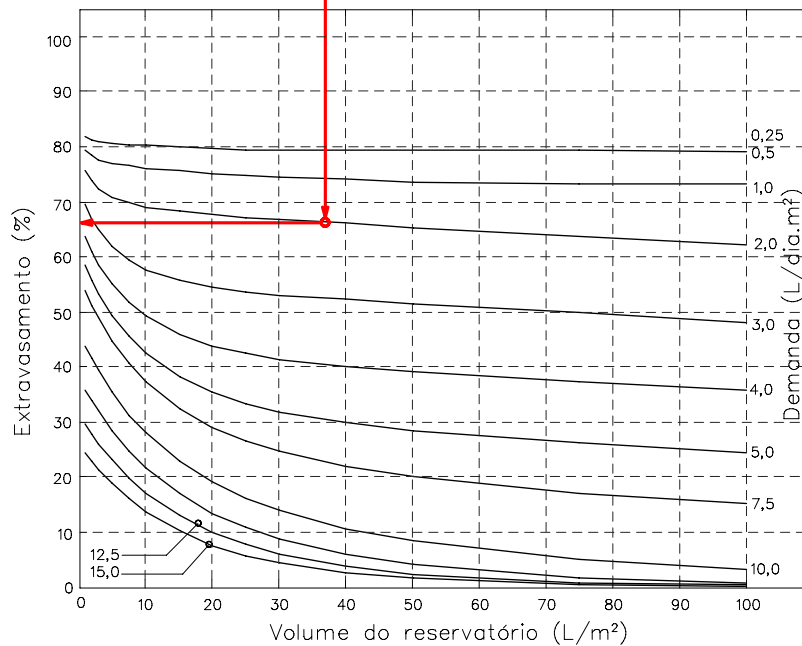
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 37,0L/m^2 \times 150m^2 = 5.550L$

% de extravasamento = **67%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



Instruções e exemplo para uso das tabelas:

1º Saber área de captação (A) em m²;

2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)

3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)

4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Obs. Nas tabelas os limites (superior e inferior) são referentes ao intervalo de confiança para 90% de significância.

Exemplo:

Área de captação = 150m² de telhado, Demanda por água não potável = 150L/dia

Du=1,0L/dia.m² - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo e=80%

Resultado: Volume do reservatório => interpolando entre 78,0% (30L/m²) e 80,9% (40L/m²) Vu =36,9/m²

$$Vu \times A = 36,9L/m^2 \times 150m^2 = 5.530L$$

% de extravasamento => interpolando entre 66,8% (30L/m²) e 66,0% (40L/m²) => **66,2%**

DIMENSIONAMENTO

ATENDIMENTO À DEMANDA

EXTRAVASAMENTO

Volume do reservatório (L/m ²)	Demanda em (L/dia.m ²)											Demanda em (L/dia.m ²)											Limite (inf.)	Média (%)	Limite (sup.)
	0,25	0,5	1	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15	0,25	0,5	1	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15			
	1	58,4	48,4	39,7	32,7	29,6	27,5	25,8	22,6	20,2	18,3	16,7	81,7	79,3	75,4	68,9	63,0	57,7	53,0	42,8	34,8	28,3			
2	67,4	58,0	47,7	38,3	33,3	30,2	27,9	23,9	21,1	18,9	17,1	81,1	78,1	73,4	66,1	60,3	55,0	50,3	40,4	32,7	26,5	21,6			
3	72,0	63,2	53,1	42,2	36,7	32,7	29,9	25,1	21,9	19,4	17,5	80,8	77,4	72,0	64,2	57,7	52,5	47,8	38,2	30,7	24,9	20,1			
5	77,3	68,9	59,7	48,4	41,5	36,9	33,4	27,2	23,3	20,4	18,1	80,4	76,6	70,3	61,0	54,1	48,4	43,5	34,2	27,3	21,9	17,6			
7,5	81,6	73,0	64,2	53,5	46,2	40,9	36,7	29,5	24,8	21,4	18,9	80,1	76,1	69,1	58,4	50,6	44,4	39,5	30,0	23,5	18,7	14,9			
10	85,0	75,7	67,1	57,0	49,6	43,9	39,4	31,3	26,1	22,3	19,5	80,6	76,8	70,3	60,2	52,7	46,7	41,9	32,5	26,0	21,1	17,3			
15	90,4	79,6	70,6	61,1	54,2	48,3	43,4	34,2	28,0	23,7	20,5	79,9	75,7	68,4	56,6	48,0	41,4	36,0	26,7	20,4	16,0	12,6			
20	95,0	82,8	72,8	63,5	57,0	51,3	46,2	36,3	29,5	24,7	21,2	80,2	76,1	69,0	57,6	49,1	42,6	37,3	28,0	21,7	17,2	13,8			
25	99,1	90,1	81,1	71,8	65,1	59,5	54,6	44,0	37,0	31,9	27,9	80,4	76,5	69,7	58,6	50,3	43,8	38,6	29,4	22,9	18,4	15,0			
30	100	93,4	84,9	76,4	70,0	64,6	59,4	48,8	41,8	36,6	32,5	79,6	75,2	67,5	56,5	48,1	41,5	36,3	27,1	20,6	16,1	12,7			
40	100	94,9	86,9	79,5	73,3	68,1	63,1	52,6	45,7	40,6	36,6	79,1	73,6	65,2	54,4	46,1	39,7	34,5	25,3	19,0	14,5	11,1			
50	100	97,2	89,6	83,6	78,5	73,5	68,6	58,2	51,4	46,4	42,5	79,5	74,4	66,9	56,2	48,0	41,7	36,6	27,4	20,9	16,4	13,0			
75	100	99,9	93,3	88,6	84,5	80,6	76,8	66,6	60,8	56,0	52,3	79,1	73,2	64,5	54,0	46,0	39,8	34,7	25,5	19,2	14,7	11,3			
100	100	100	96,0	92,0	88,4	85,1	82,0	72,0	66,3	61,7	58,2	79,5	73,7	64,6	54,2	46,3	40,2	35,1	25,9	19,6	15,1	11,7			
	100	100	94,8	91,0	87,8	84,7	81,7	71,8	66,2	61,8	58,4	79,0	72,9	61,5	51,6	43,8	37,8	32,7	23,5	17,2	12,7	9,4			
	100	100	96,0	92,0	88,4	85,1	82,0	72,0	66,3	61,7	58,2	79,2	73,3	62,3	52,4	44,6	38,6	33,5	24,3	18,0	13,5	10,1			
	100	100	97,2	93,3	90,0	86,9	84,0	74,2	68,6	64,3	60,9	79,4	73,7	63,1	53,4	45,7	39,7	34,6	25,4	19,1	14,6	11,2			

Erros médios relativos em relação à simulação com a série observada

Nível de Atendimento à Demanda: 1,4% (dentro do intervalo de confiança)

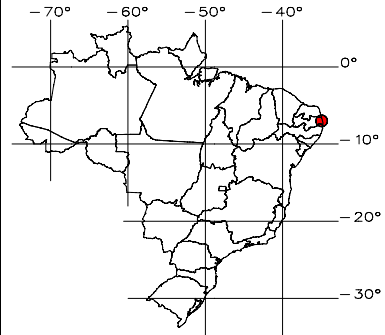
Percentual de Extravasamento: -3,4% (dentro do intervalo de confiança)



DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **JOÃO PESSOA/PB**

Nome do posto pluviométrico: ALHANDRA
Código ANA: 734008
Disponibilidade: 1936 a 1983 (48 anos – 0,9% de falhas)
População (IBGE - 2010): 1.301.892 hab



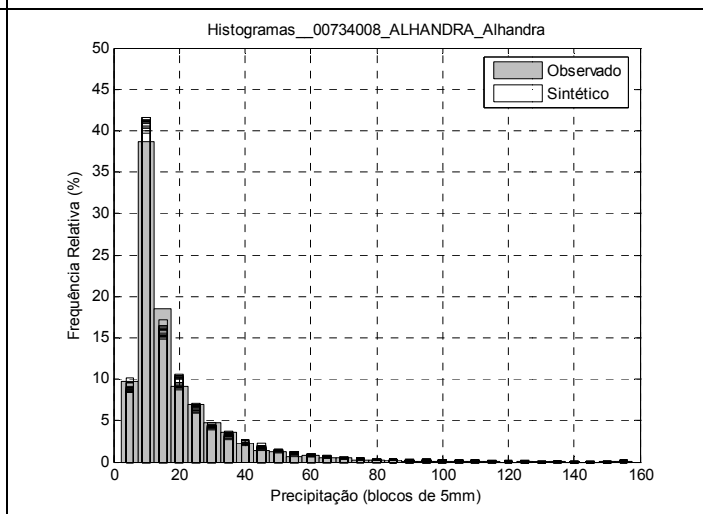
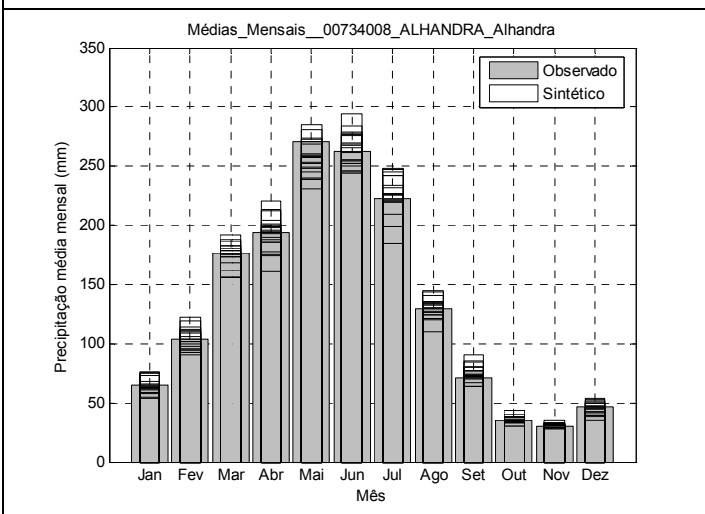
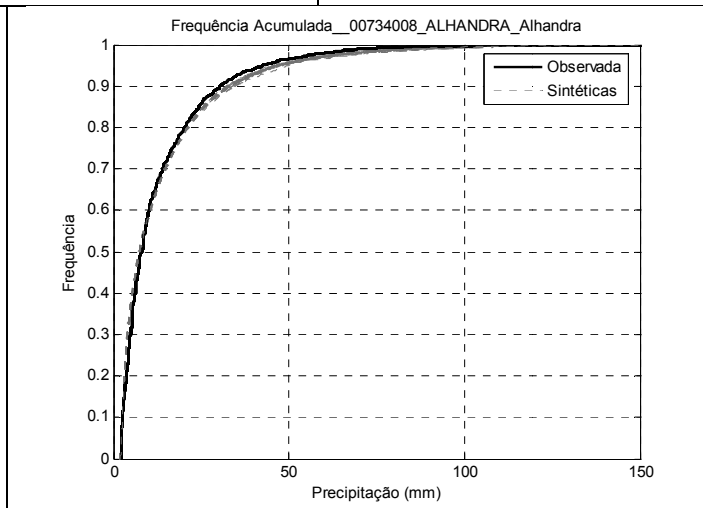
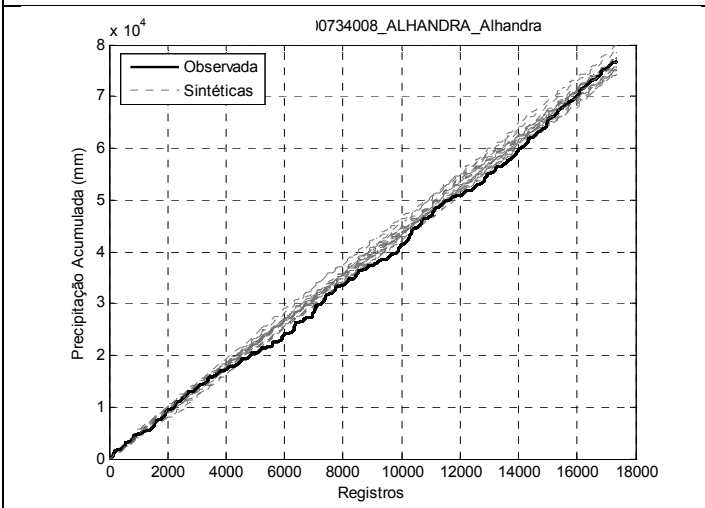
João Pessoa/PB
Lat. 7°26'S Long.34°55'W
Altitude: 49m

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	65	103	177	194	271	262	223	129	71	35	31	46
Média Sintética	65	104	174	193	257	264	226	130	75	36	31	46

Precipitação Média anual: 1.608mm (observada) 1.601mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

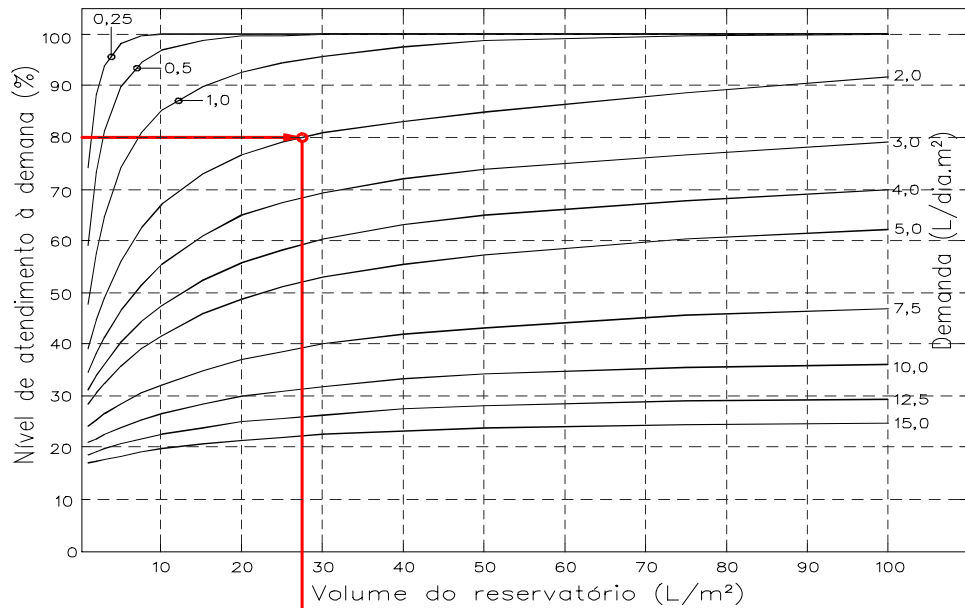
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

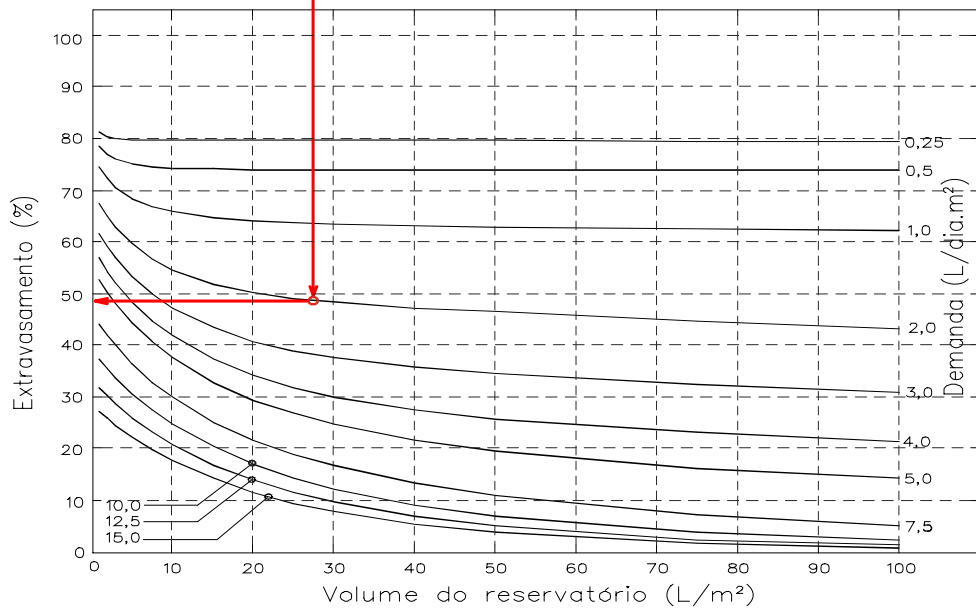
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 27,5L/m^2 \times 150m^2 = 4.125L$

% de extravasamento = **49%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO

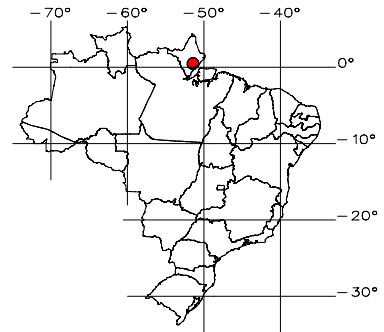




DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **MACAPÁ/AP**

Nome dos postos pluviométricos: MACAPA
Códigos ANA: 8051002
Disponibilidade: 1967 a 2007 (41 anos – 25,5% de falhas)
População (IBGE - 2010): 397.913 hab

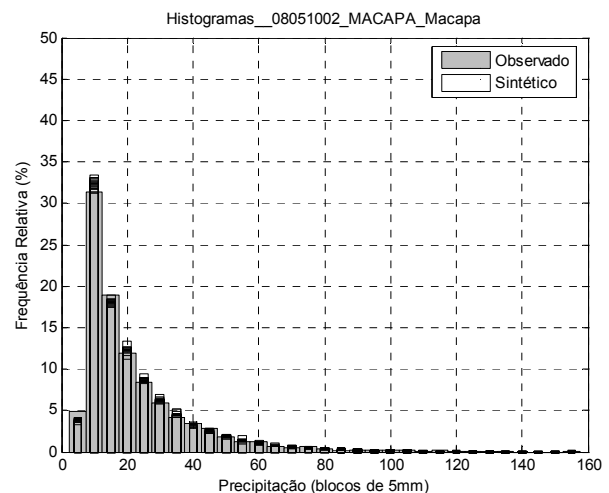
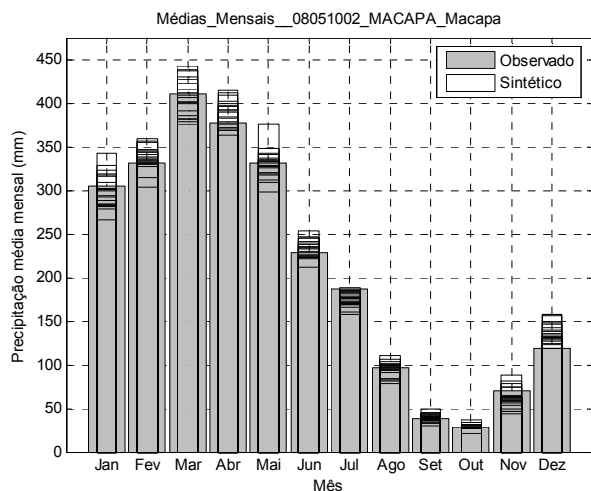
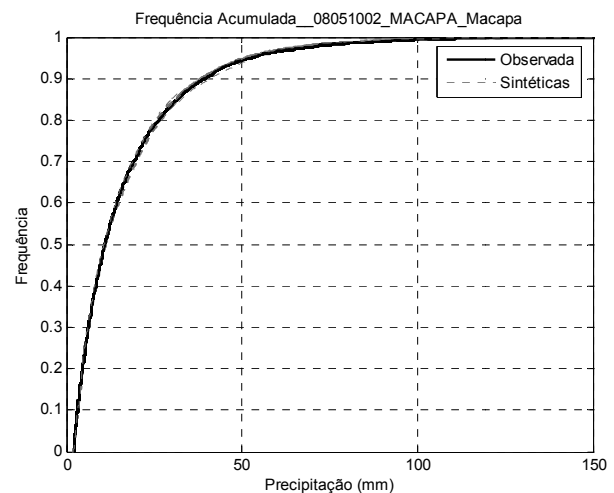
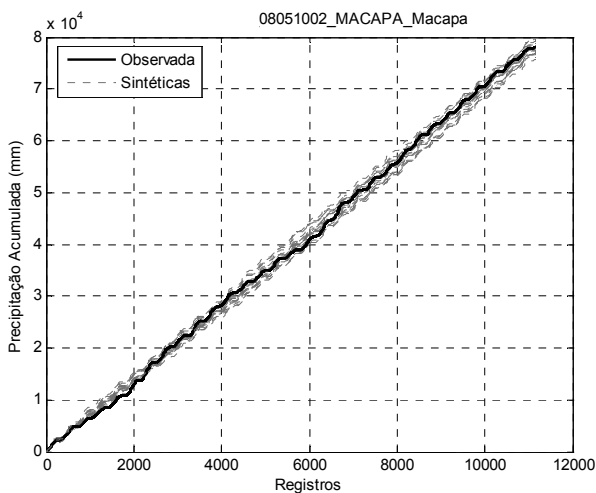


Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	305	331	411	377	332	229	187	97	38	28	70	119
Média Sintética	301	337	408	388	330	233	175	95	39	30	62	138
Precipitação Média anual:	2.523mm (observada)						2.537mm (sintética)					

Macapá/AP
Lat. 2°42'00"N Long.51°06'35"W
Altitude: 14m



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

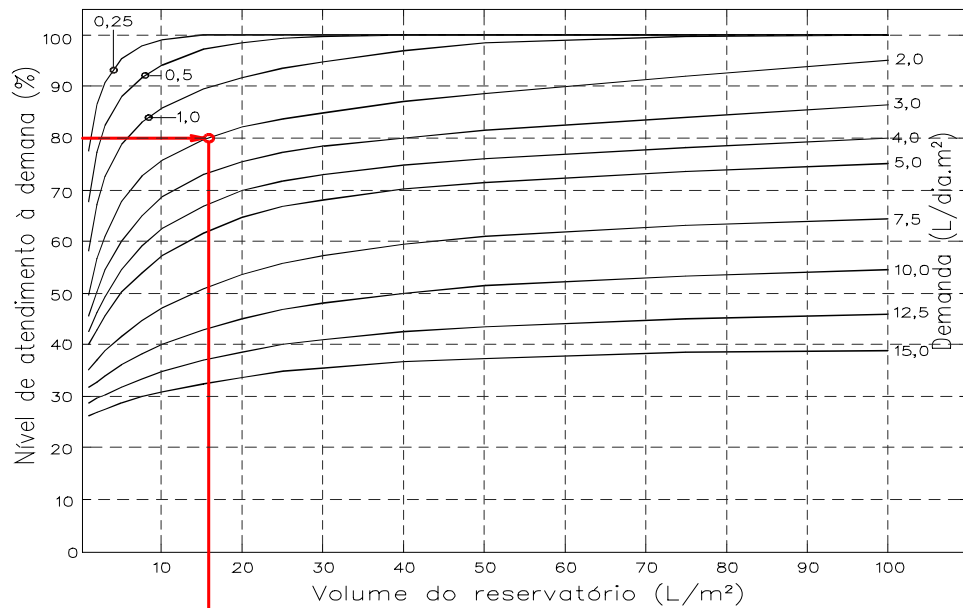
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

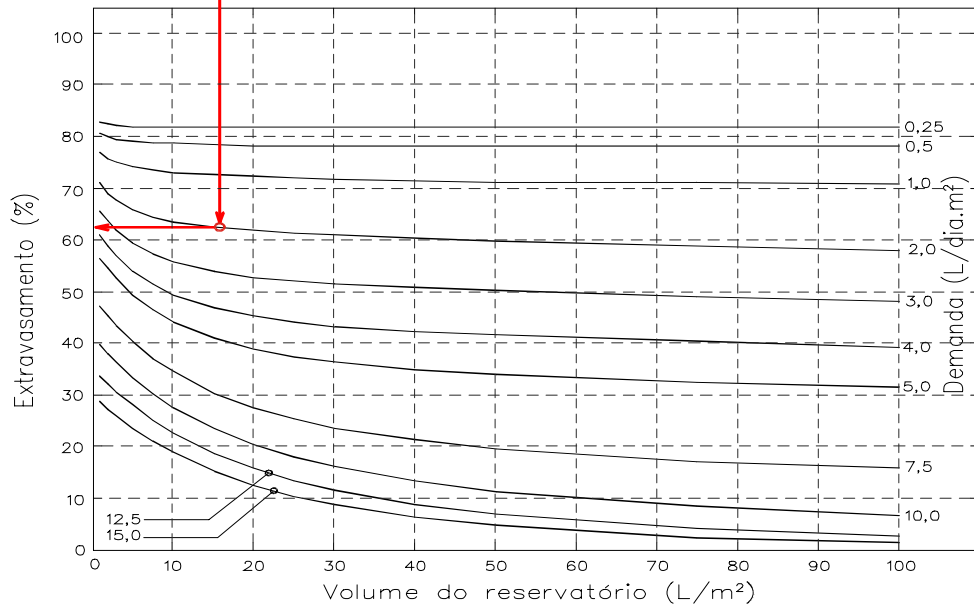
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 16,0L/m^2 \times 150m^2 = 2.4.000L$

% de extravasamento = **62%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA

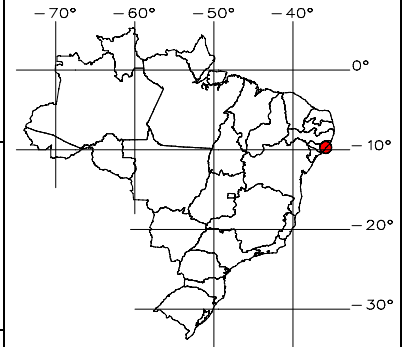


DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL
Município: **MACEIÓ/AL**

Nome do posto pluviométrico: MACEIO
Código ANA: 935005
Disponibilidade: 1912 a 1994 (83 anos – 8,7% de falhas)
População (IBGE - 2010): 932.608 hab



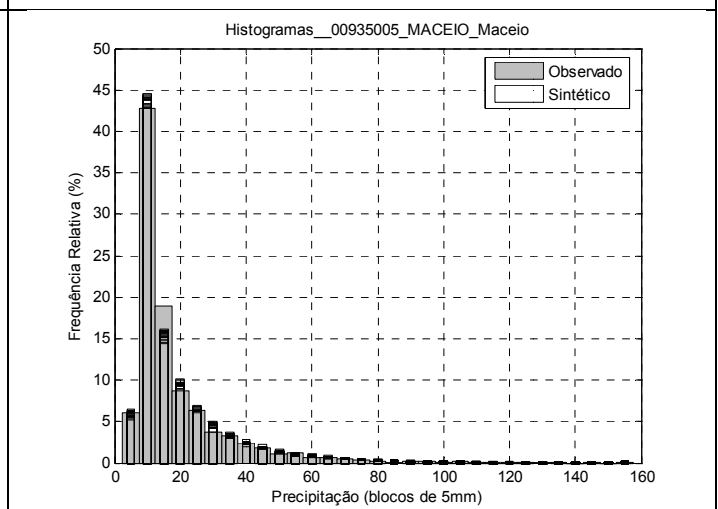
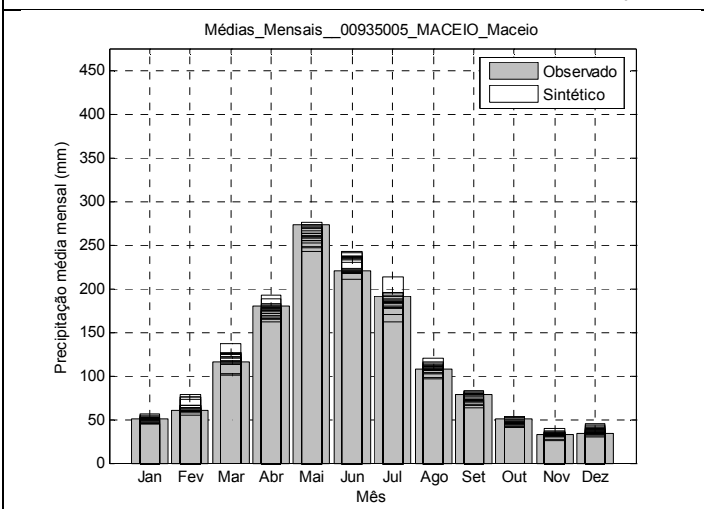
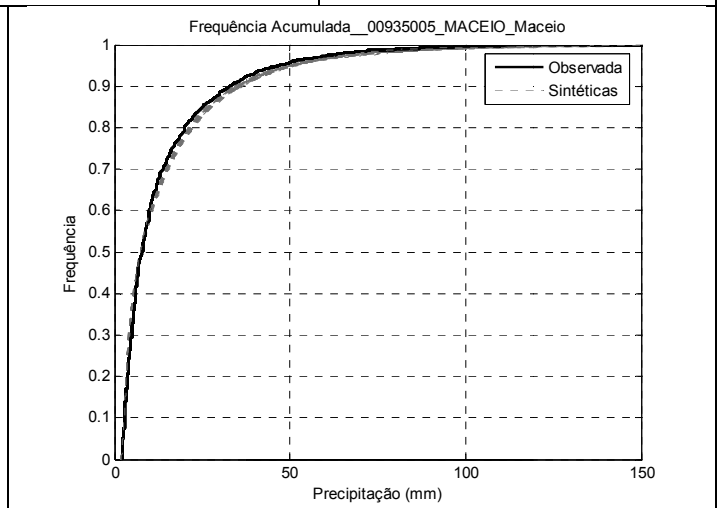
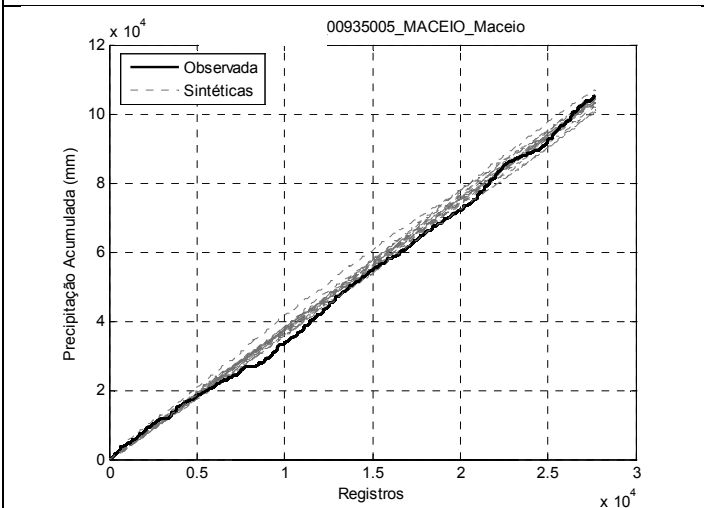
Maceió/AL
Lat. 9°34'S Long.38°36'W
Altitude: 5m

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	51	60	116	180	273	220	192	108	79	50	33	35
Média Sintética	49	65	118	174	259	228	186	109	75	46	33	38

Precipitação Média anual: 1.397mm (observada) 1.380mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

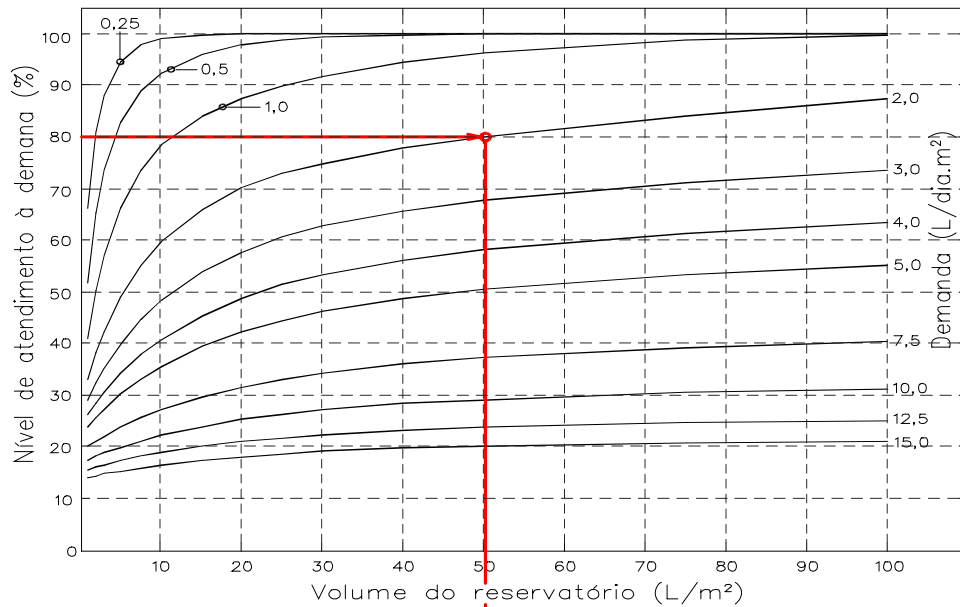
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

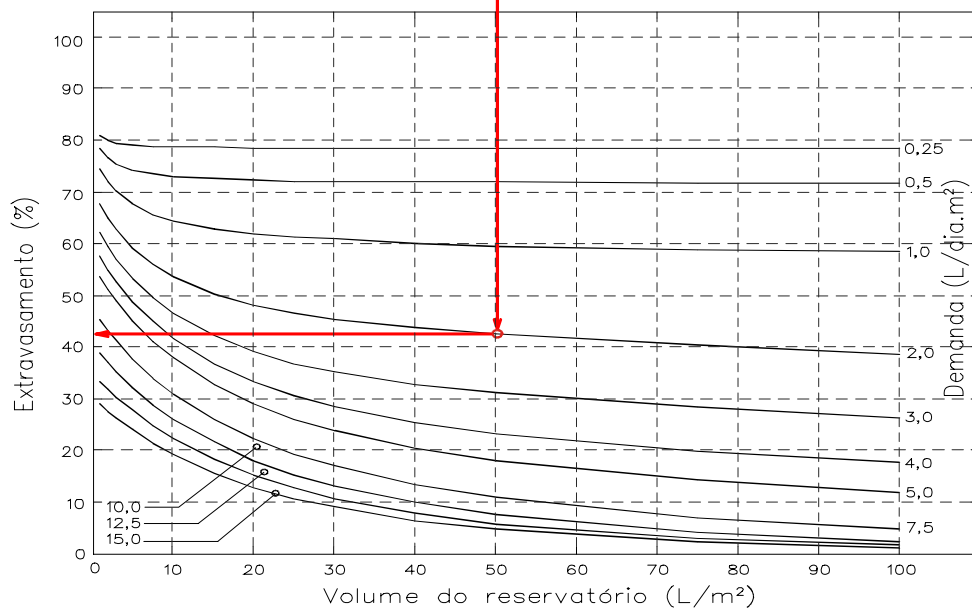
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 50,5L/m^2 \times 150m^2 = 7.575L$

% de extravasamento = **43%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **MANAUS/AM**

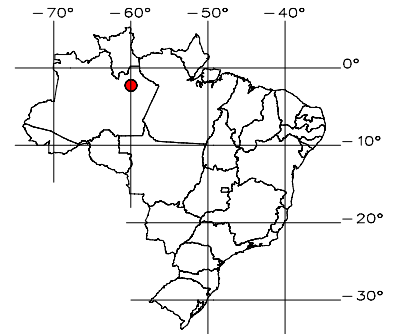
Nome dos postos pluviométricos: CPRM-SUREG/MA RESERVA FLORESTAL DUCKE–INPA e MANAUS (PONTA PELADA)

Códigos ANA: 359005 360003 e 359000

Disponibilidade: 1978 a 2011 (34 anos – 29,3% de falhas)

População (IBGE - 2010): 1.802.525 hab

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).



Manaus/AM

Lat. 3°06'00"S Long.59°59'40"W

Lat. 3°08'00"S Long.60°02'00"W

Lat. 3°08'00"S Long.59°59'00"W

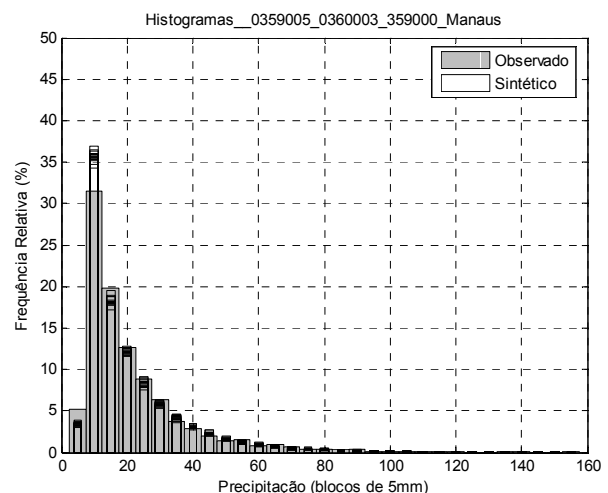
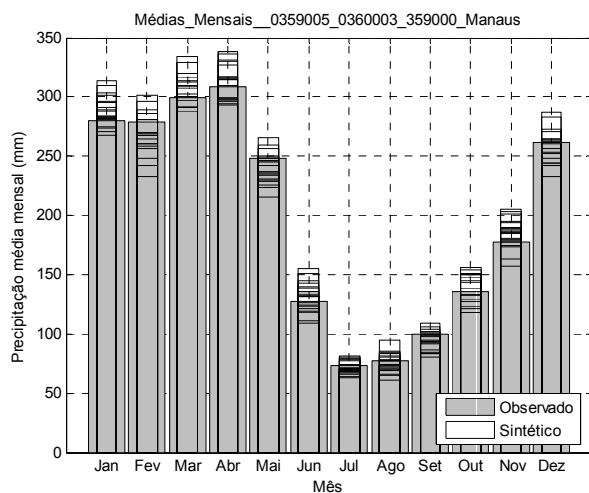
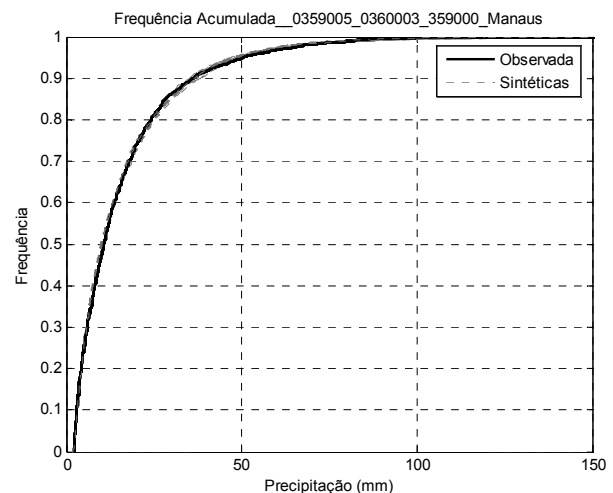
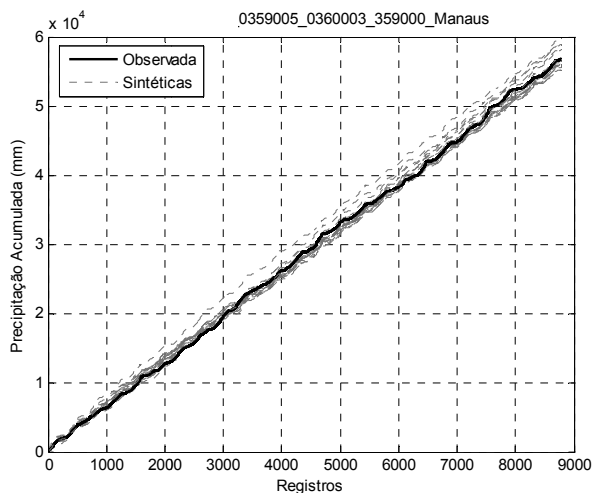
Altitude: ~85m

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	239	215	167	68	60	49	35	39	74	115	131	190
Média Sintética	237	210	167	80	60	50	36	44	77	115	134	188

Precipitação Média anual: 1.381mm (observada)

1.397mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

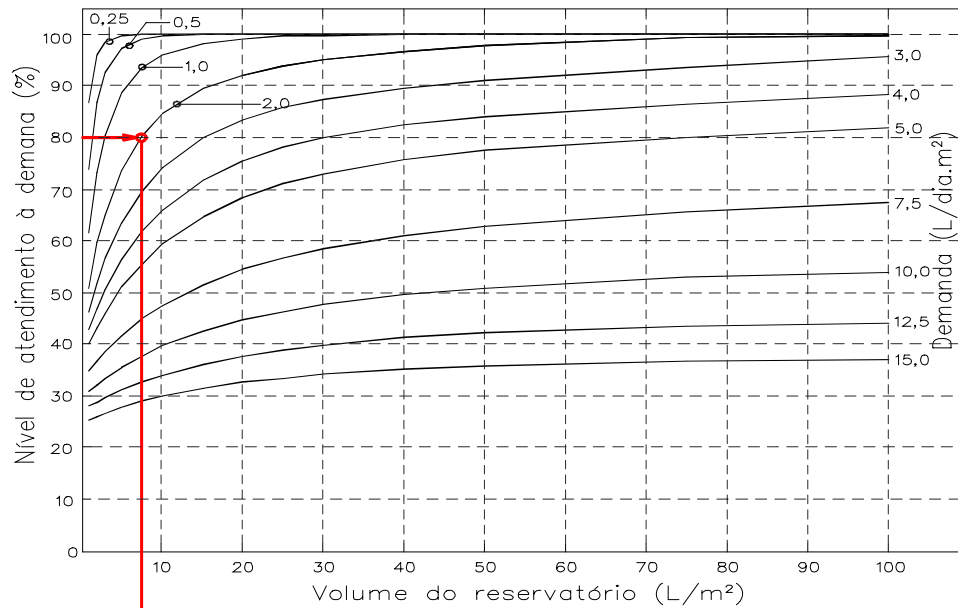
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

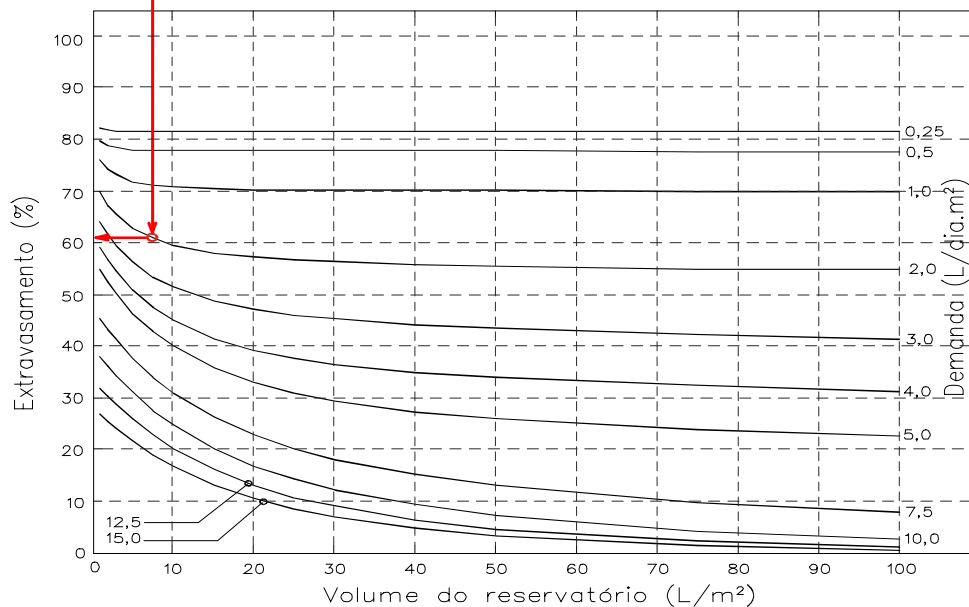
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 8,0L/m^2 \times 150m^2 = 1.200L$

% de extravasamento = **61%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



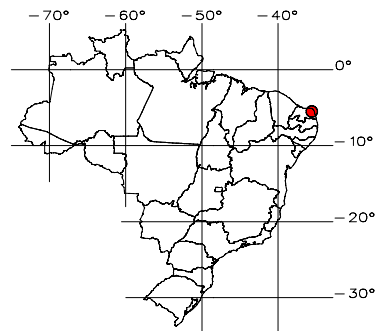
DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **NATAL/RN**

Nome do posto pluviométrico: PIRIPIRI
Código ANA: 535002
Disponibilidade: 1911 a 1994 (84 anos – 38,5% de falhas)
População (IBGE - 2010): 803.811 hab

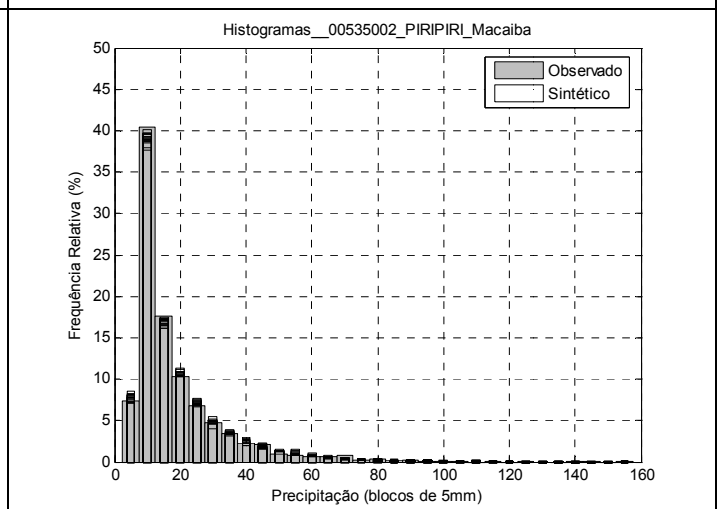
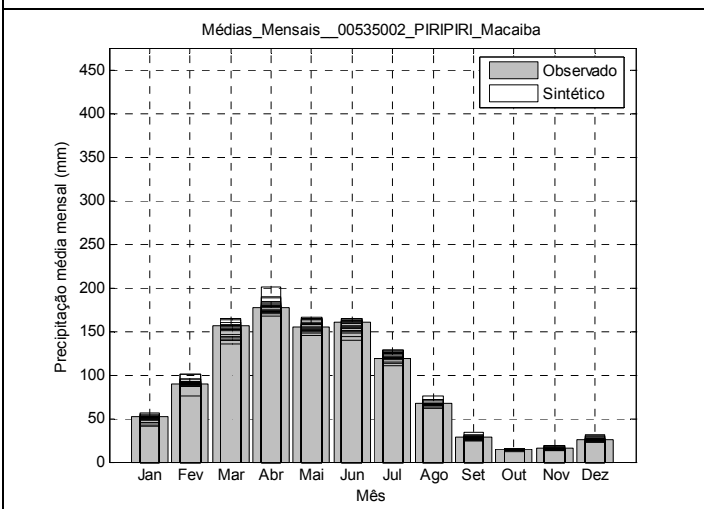
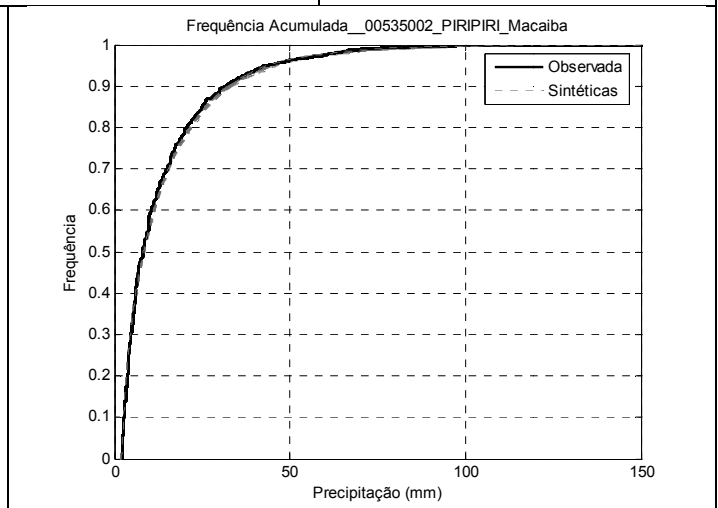
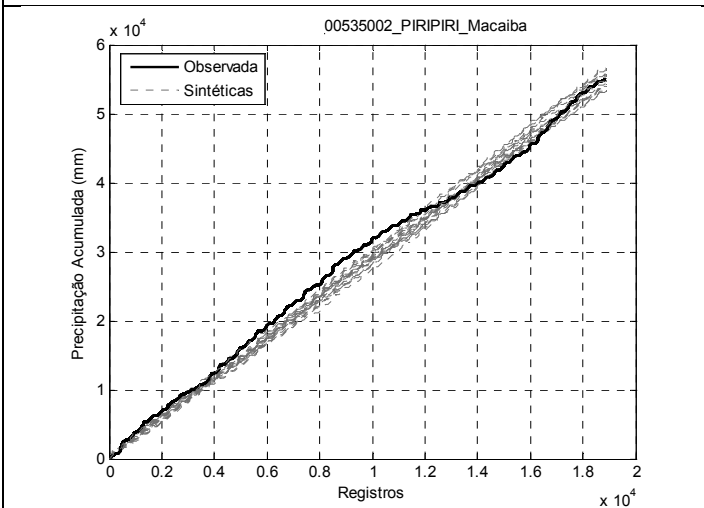


Natal/RN
Lat. 5°51' S Long. 35°21' W
Altitude: 50m

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	50	91	151	179	157	156	122	67	28	14	16	26
Média Sintética	52	89	156	178	155	161	119	68	29	14	17	25
Precipitação Média anual:	1.063mm (observada)						1.055mm (sintética)					



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m²;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

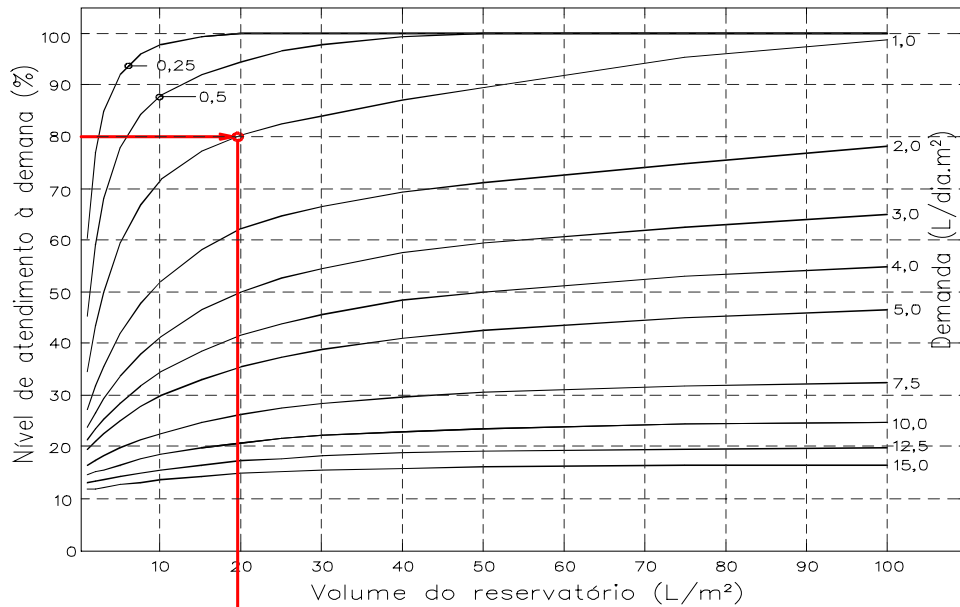
Área de captação = 150m² de telhado, Demanda por água não potável = 150L/dia

$Du=1,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

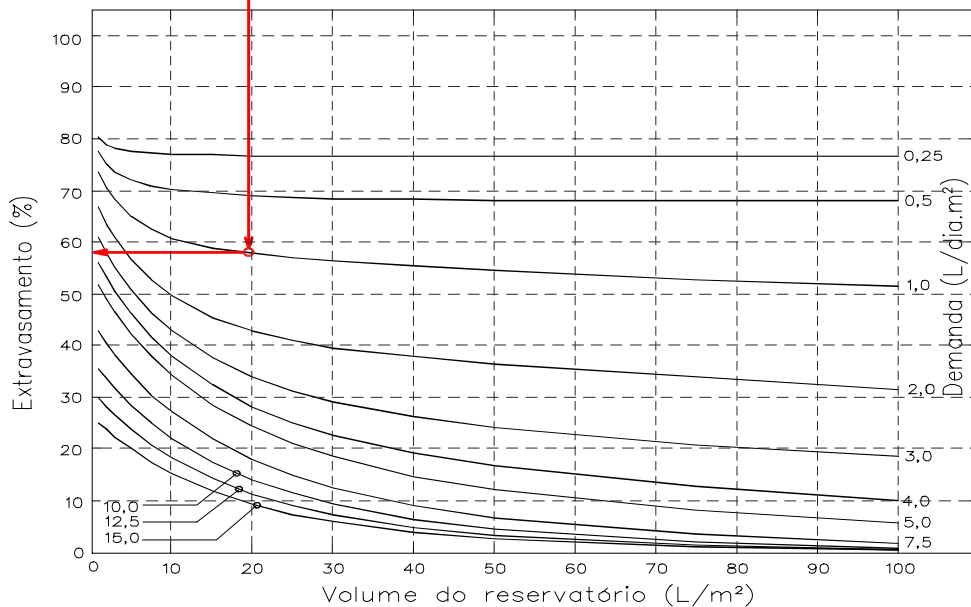
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 19,5L/m^2 \times 150m^2 = 2.925L$

% de extravasamento = 58%

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO

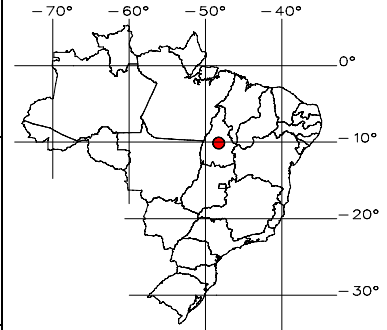


DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **PALMAS/TO**

Nome do posto pluviométrico: PIUM
Código ANA: 1049001
Disponibilidade: 1983 a 2011 (29 anos – 6,7% de falhas)
População (IBGE - 2010): 228.297 hab

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

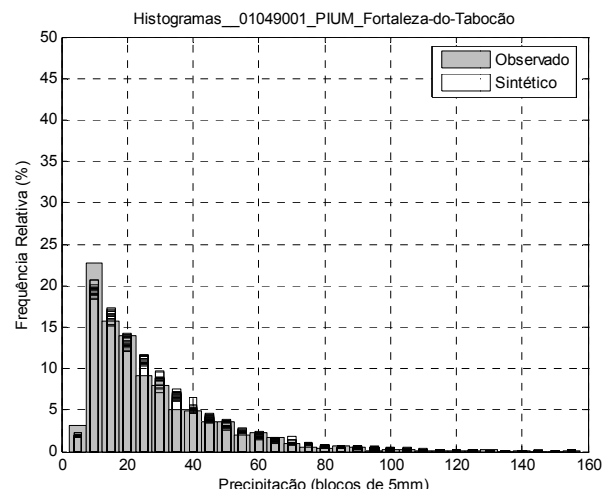
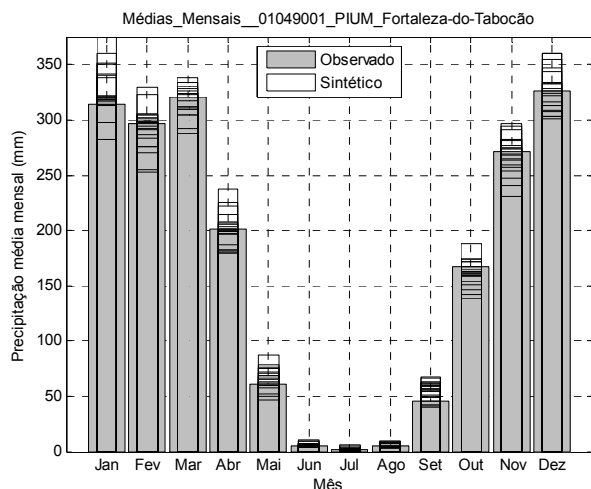
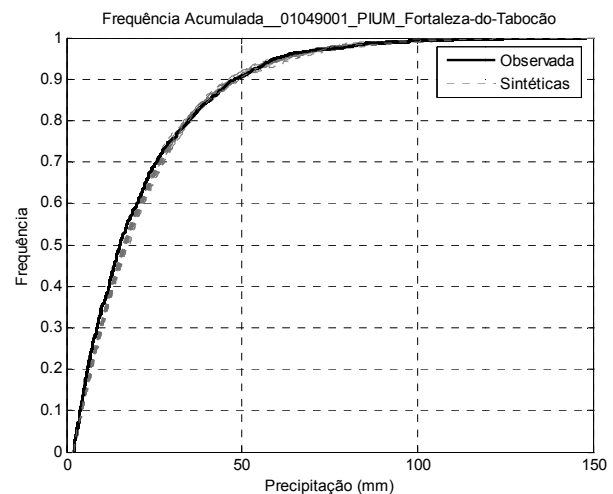
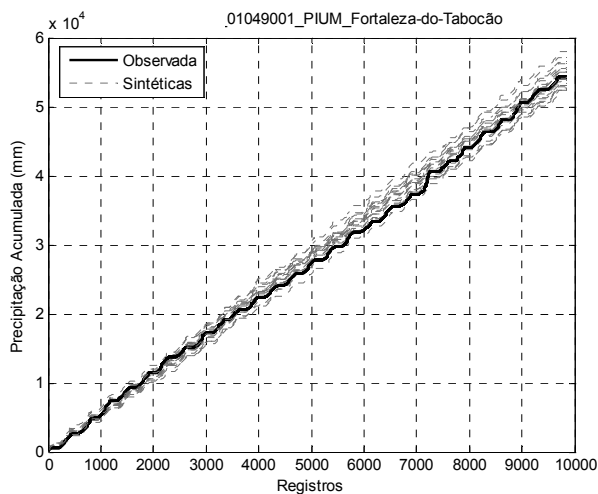


Palmas/TO
Lat.10°26'28"S Long.49°10'45"W
Altitude: 280m

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	314	296	321	202	61	5	1	5	46	167	271	326
Média Sintética	328	292	316	201	65	6	2	6	55	161	269	327

Precipitação Média anual: 2.015mm (observada) 2.029mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

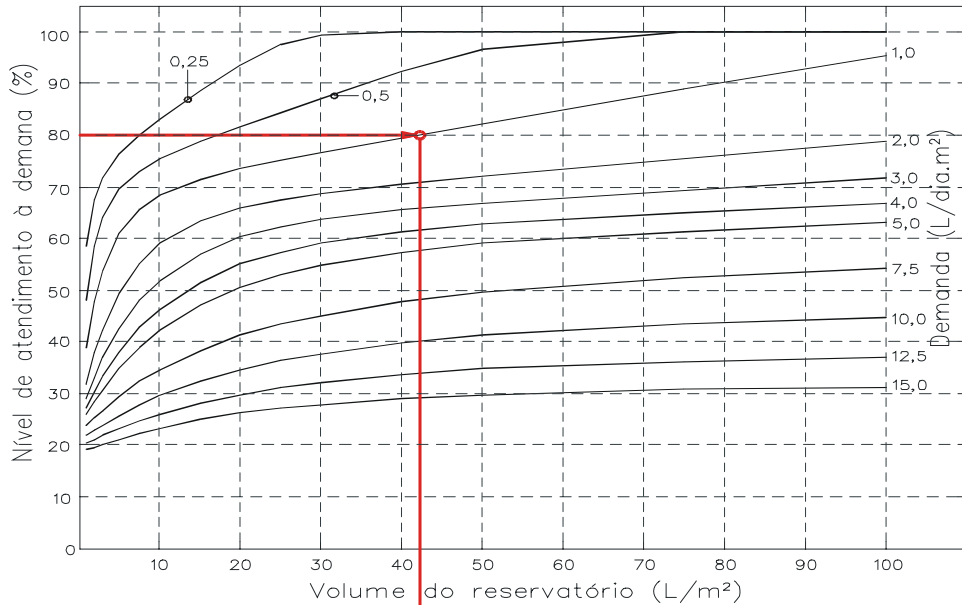
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $150L/dia$

$Du=1,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

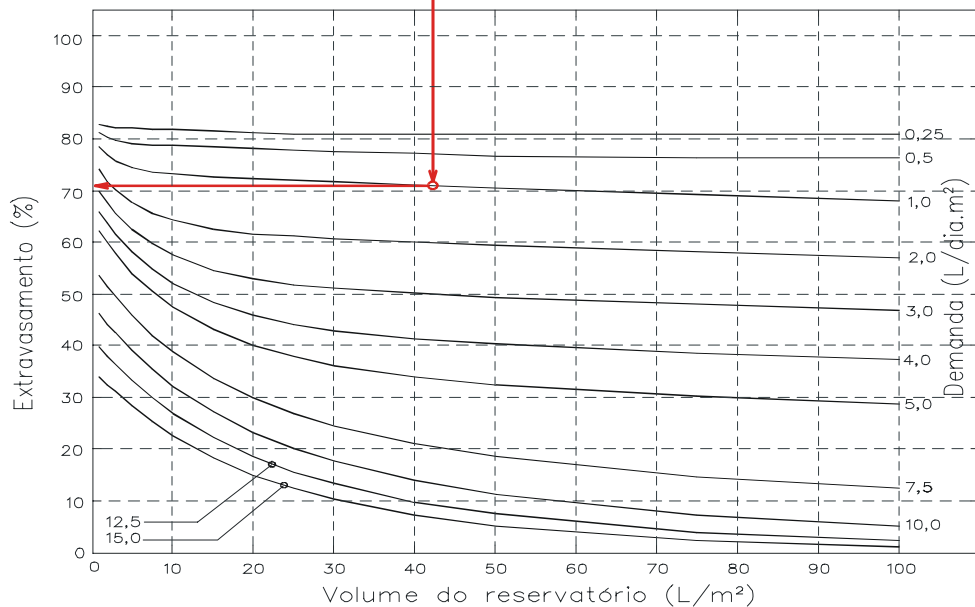
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 42,0L/m^2 \times 150m^2 = 6.300L$

% de extravasamento = **71%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO

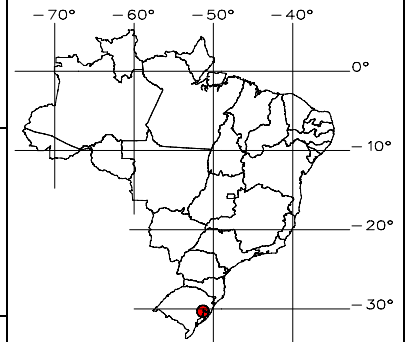


DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **PORTO ALEGRE /RS**

Nome do posto pluviométrico: PORTO ALEGRE
Código ANA: 3051011
Disponibilidade: 1961 a 1998 (38 anos – 12,6% de falhas)
População (IBGE - 2010): 1.409.939 hab

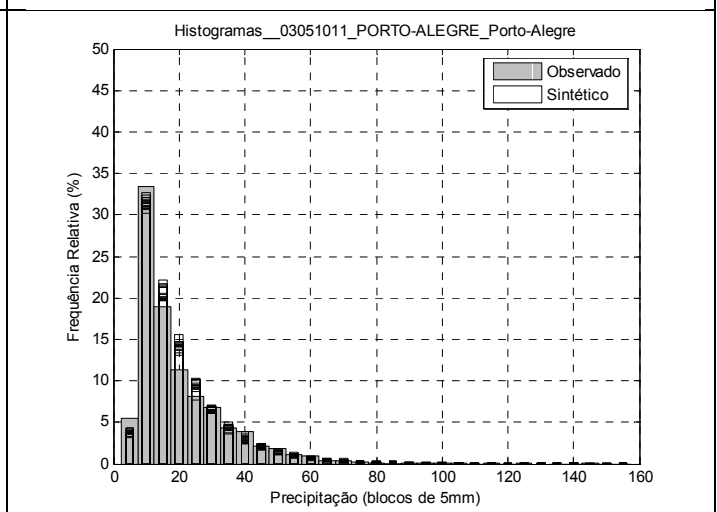
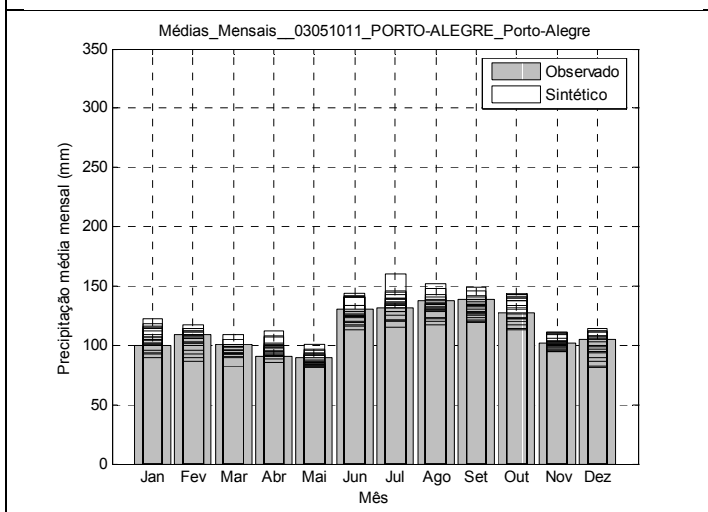
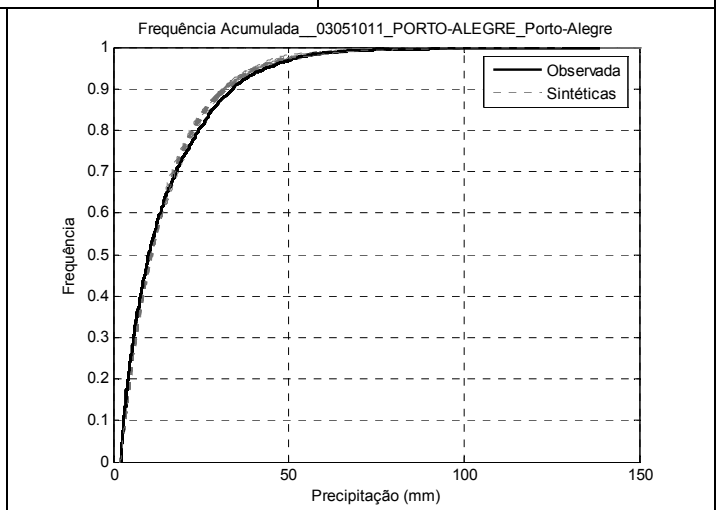
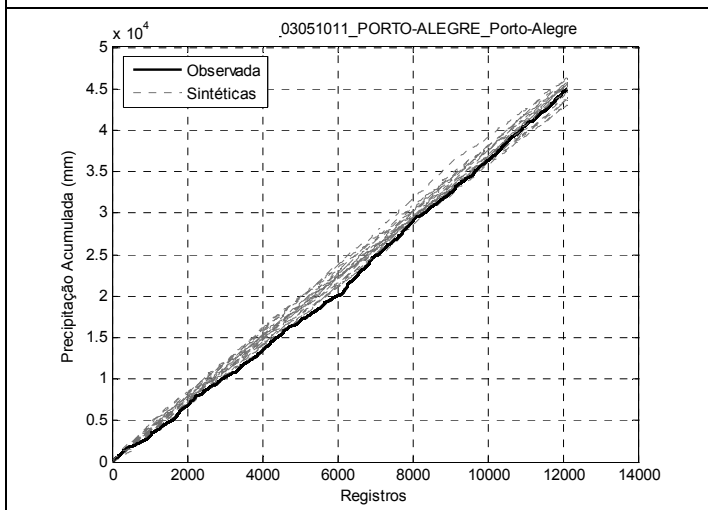
Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).



Porto Alegre/RS
Lat. 30°03'13"S Long.51°10'24"W
Altitude: 47m

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	100	109	101	91	90	131	132	138	138	128	102	105
Média Sintética	100	102	97	94	87	123	127	132	131	122	102	105
Precipitação Média anual:	1.363mm (observada)						1.322mm (sintética)					



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

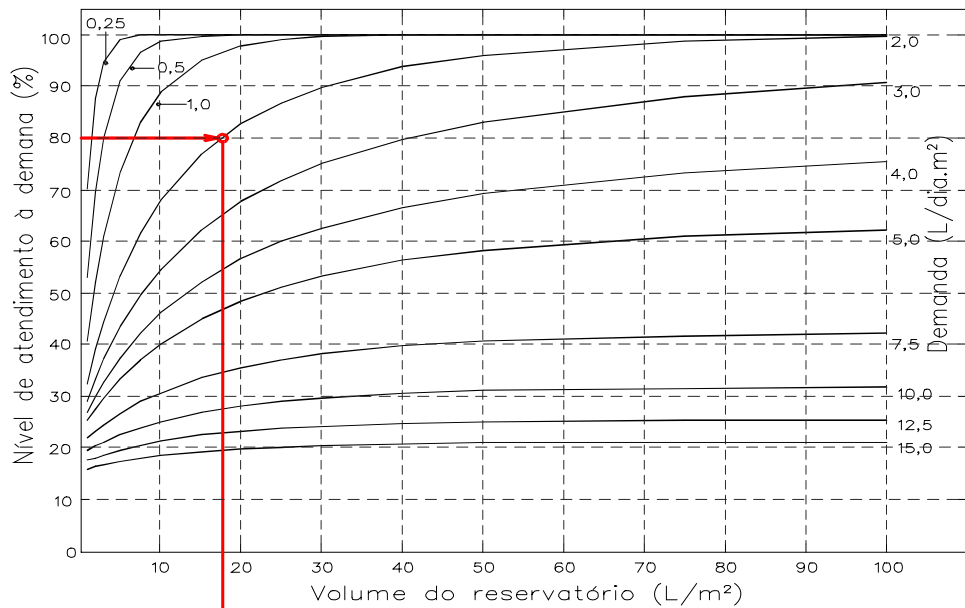
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

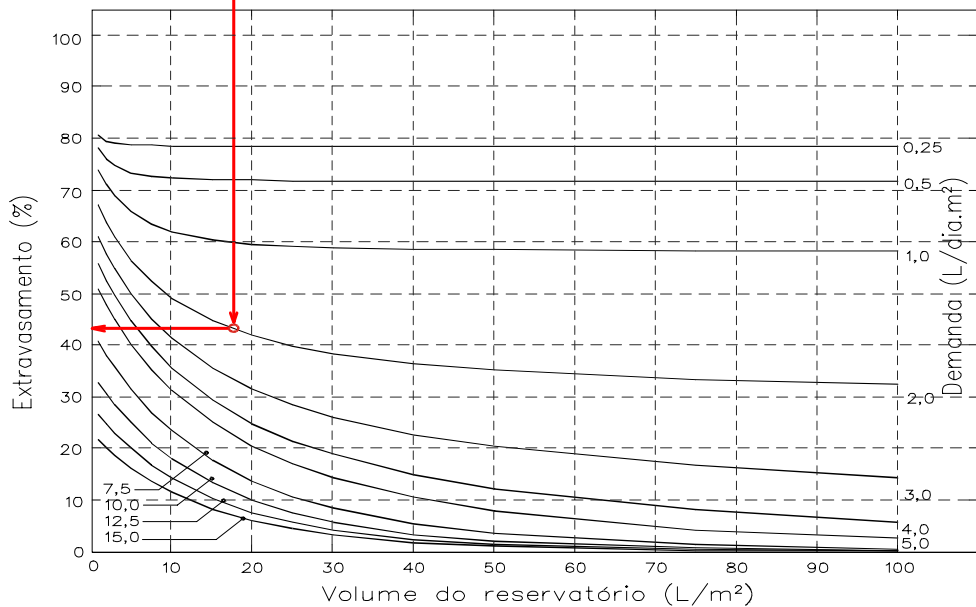
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 17,5L/m^2 \times 150m^2 = 2.650L$

% de extravasamento = **43%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



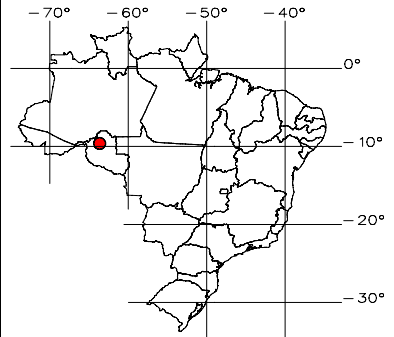
DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **PORTO VELHO/RO**

Nome dos postos pluviométricos: PORTO VELHO
Códigos ANA: 863000
Disponibilidade: 1961 a 1999 (39 anos – 21,7% de falhas)
População (IBGE - 2010): 426.558 hab

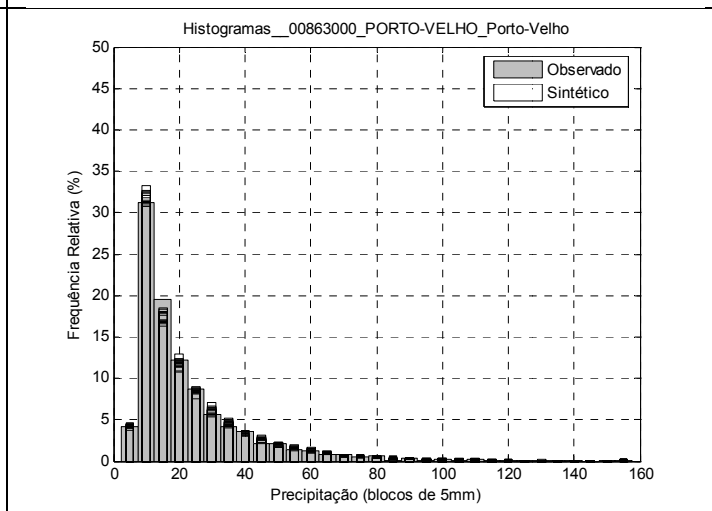
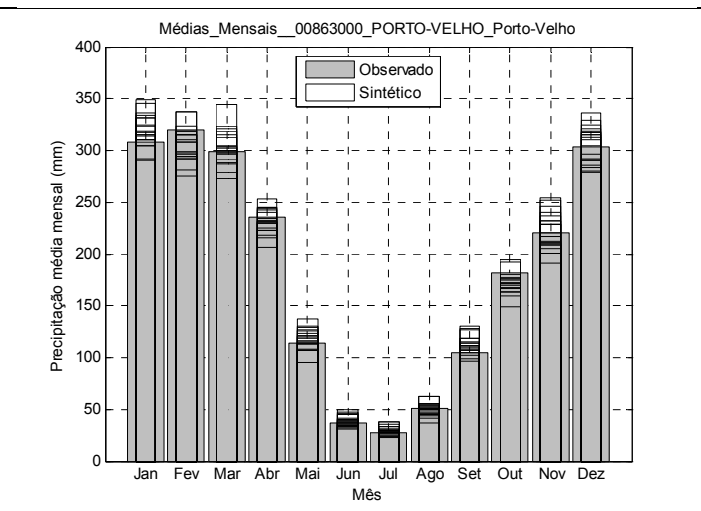
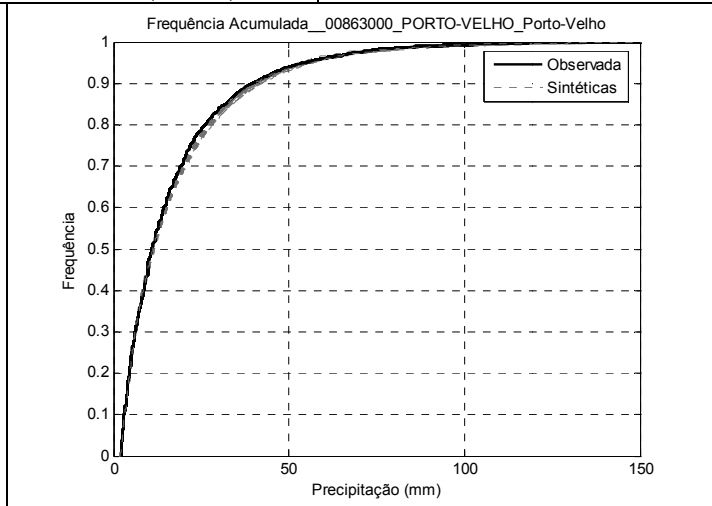
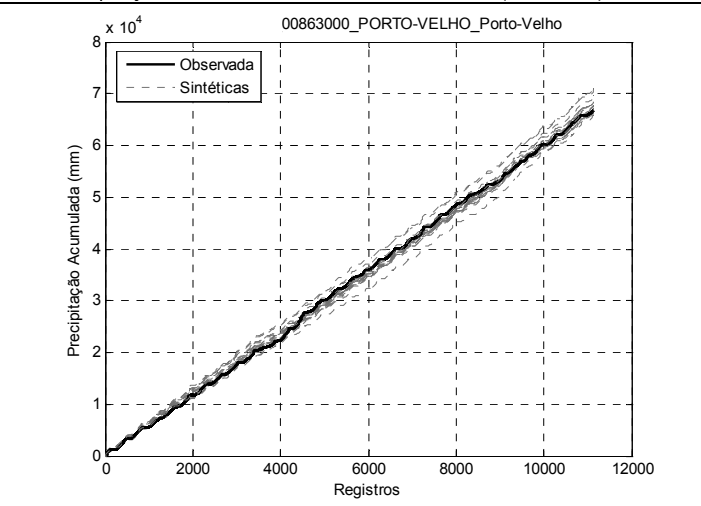


Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	308	319	299	236	114	37	28	51	104	182	220	303
Média Sintética	322	308	304	229	114	37	27	54	111	176	222	310
Precipitação Média anual:	2.201mm (observada)						2.215mm (sintética)					

Porto Velho/RO
Lat. 10°54'S Long.37°03'W
Altitude: 3m



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

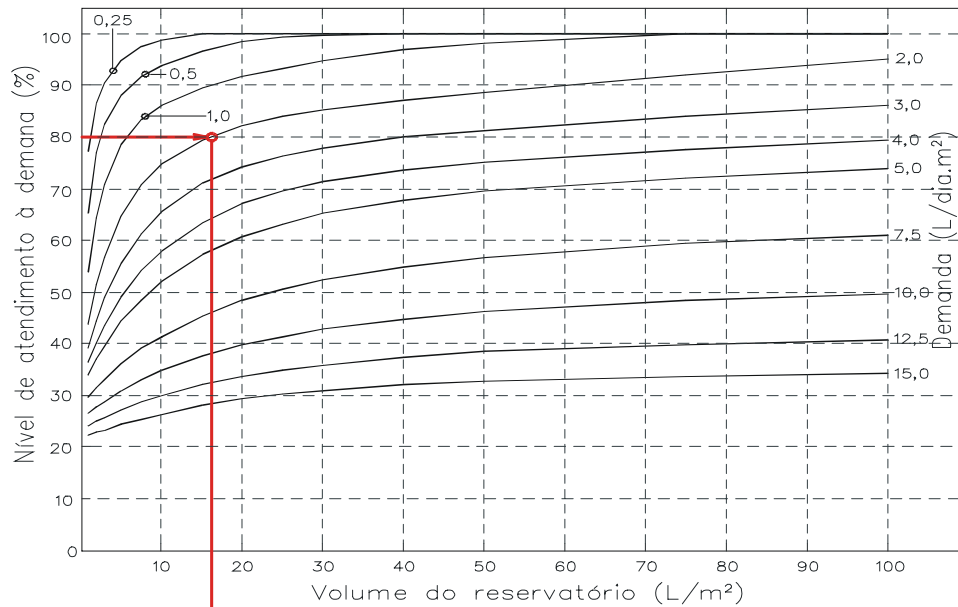
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

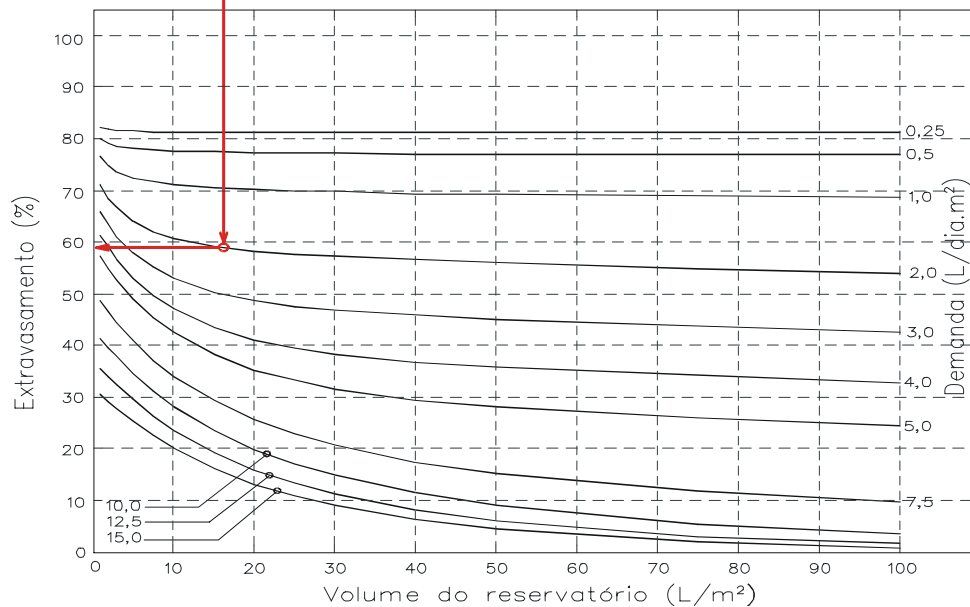
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 16,0L/m^2 \times 150m^2 = 2.400L$

% de extravasamento = **59%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **RECIFE/PE**

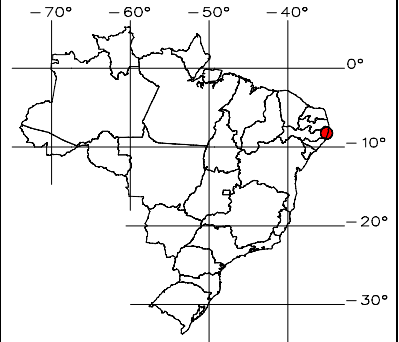
Nome dos postos pluviométricos: RECIFE / AFOGADOS e RECIFE (CURADO)

Código ANA: 834017 e 834006

Disponibilidade: 1967 a 2011 (45 anos – 36,1% de falhas)

População (IBGE - 2010): 1.536.934hab

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).



Recife/PE

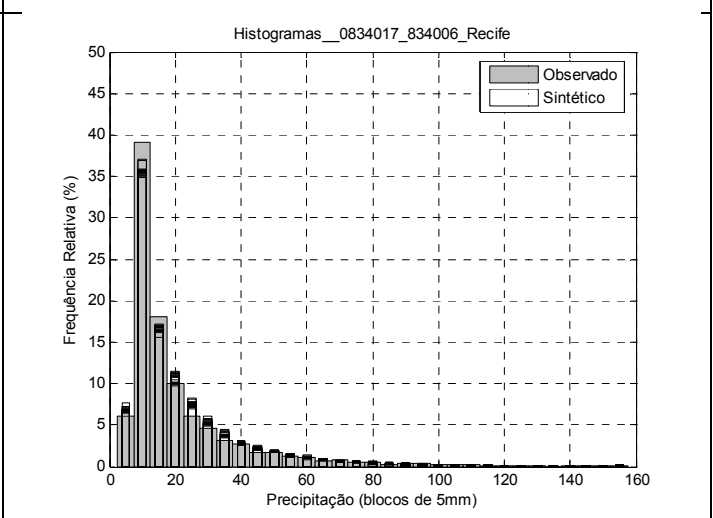
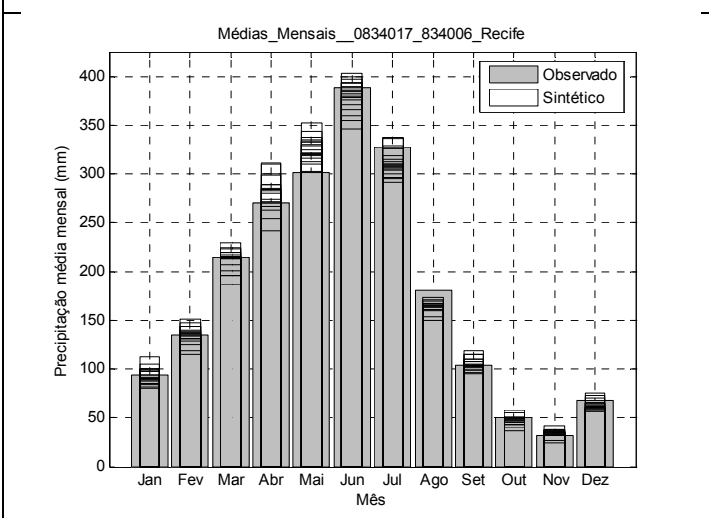
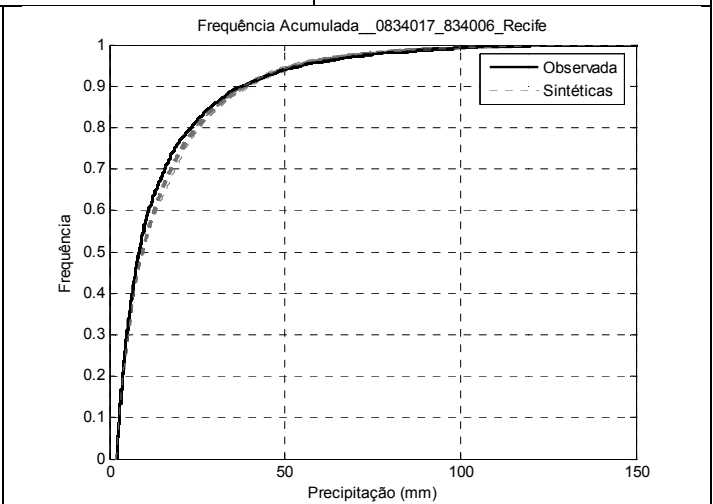
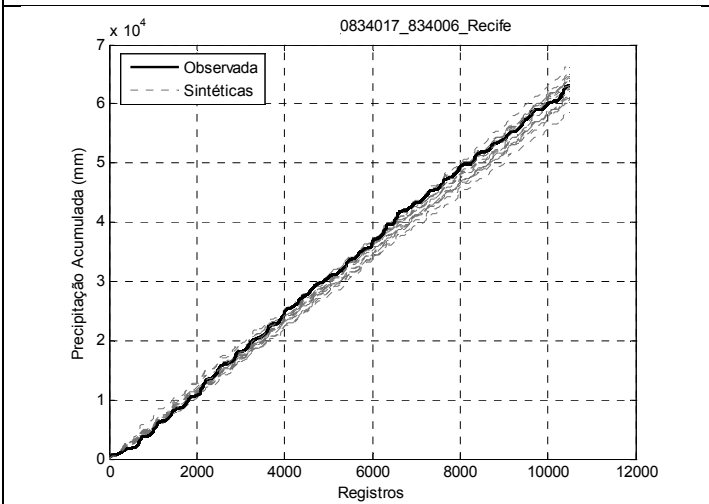
Lat. 8°04'46" S Long. 34°54'13" W

Lat. 8°03' S Long. 34°55' W

Altitude: 10m e 5m

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	94	134	214	271	301	389	327	180	104	51	31	67
Média Sintética	90	133	208	276	321	386	306	165	101	47	33	59
Precipitação Média anual:	2.164mm (observada)						2.124mm (sintética)					



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

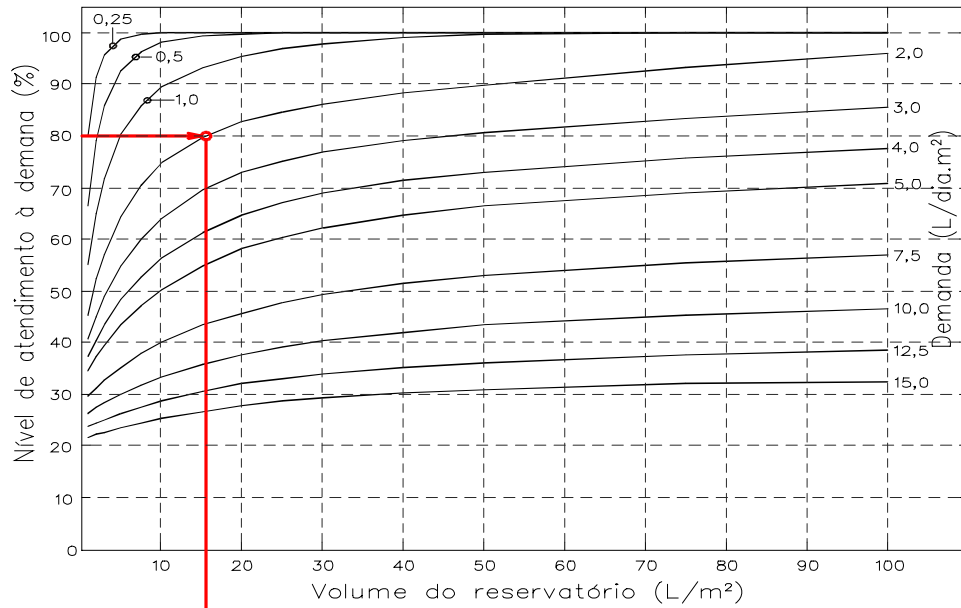
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

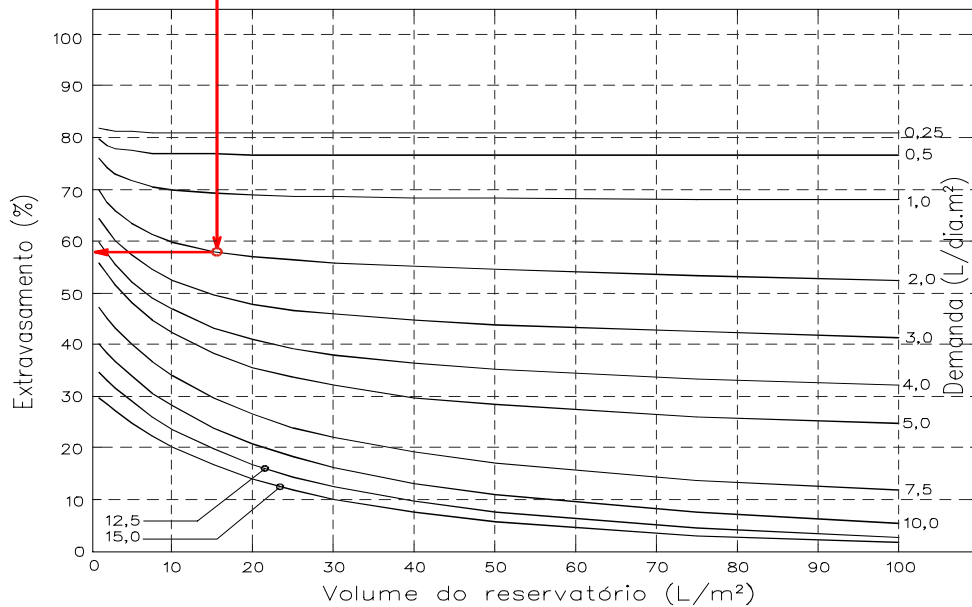
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 16,0L/m^2 \times 150m^2 = 2.400L$

% de extravasamento = **58%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **RIO BRANCO/AC**

Nome dos postos pluviométricos: RIO BRANCO
Códigos ANA: 967000
Disponibilidade: 1969 a 2007 (39 anos – 46,1% de falhas)
População (IBGE - 2010): 335.796 hab

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

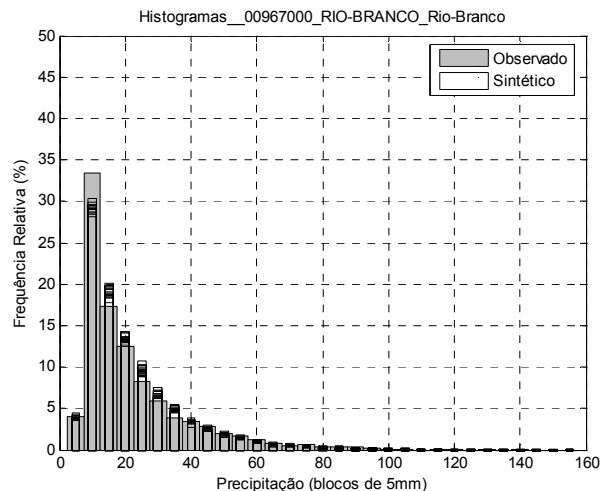
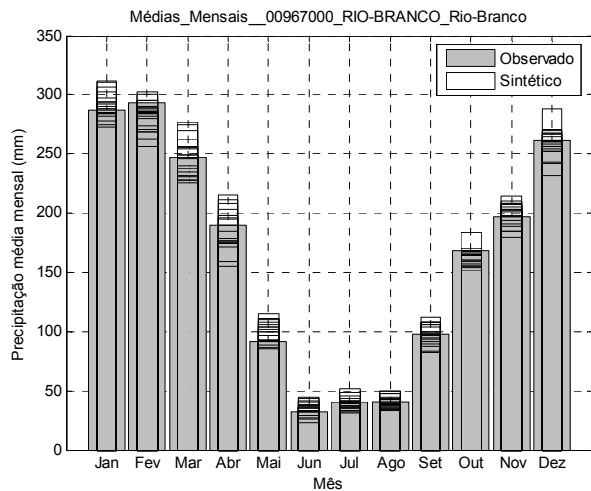
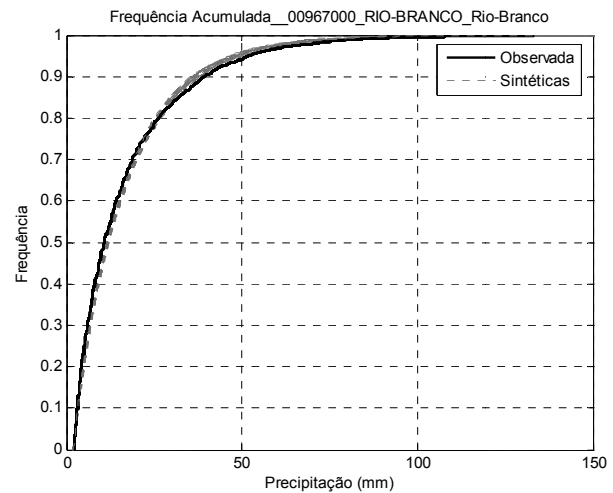
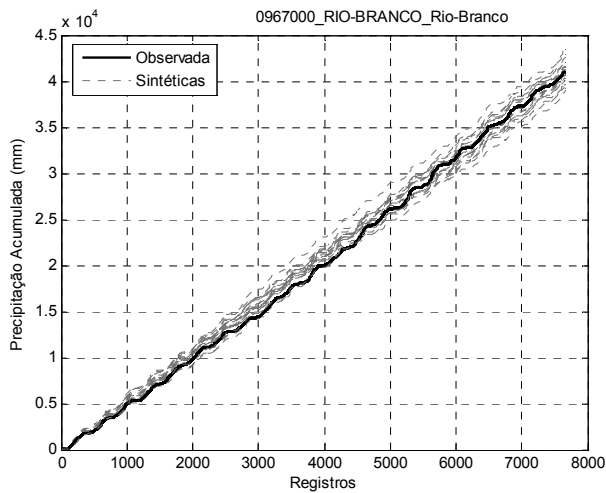


Rio Branco/AC
Lat. 9°58'33"S Long.67°48'00"W
Altitude: 160m

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	287	294	247	190	91	32	40	41	97	168	197	262
Média Sintética	290	282	247	186	99	35	39	41	98	164	200	259

Precipitação Média anual: 1.945mm (observada) 1.940mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

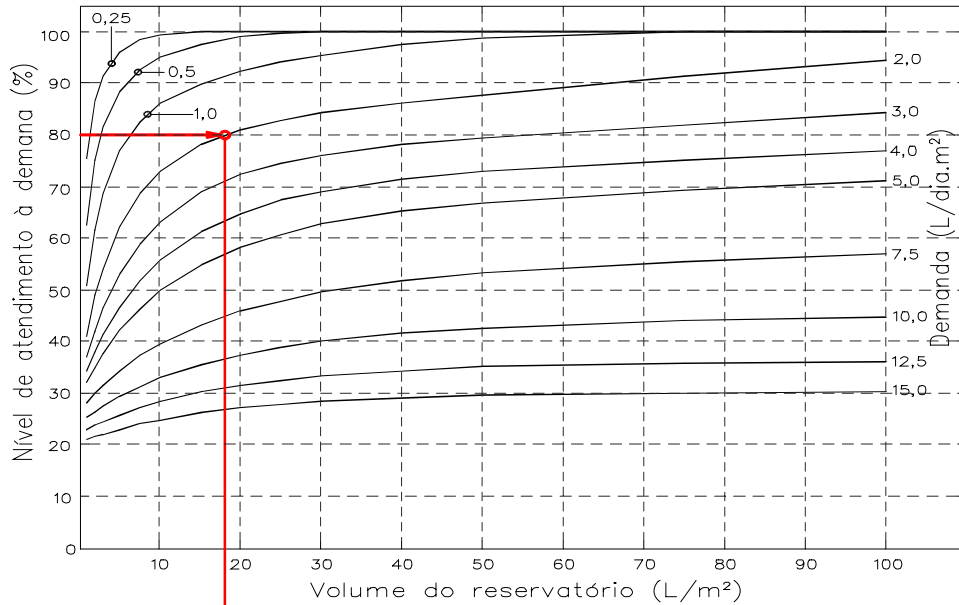
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

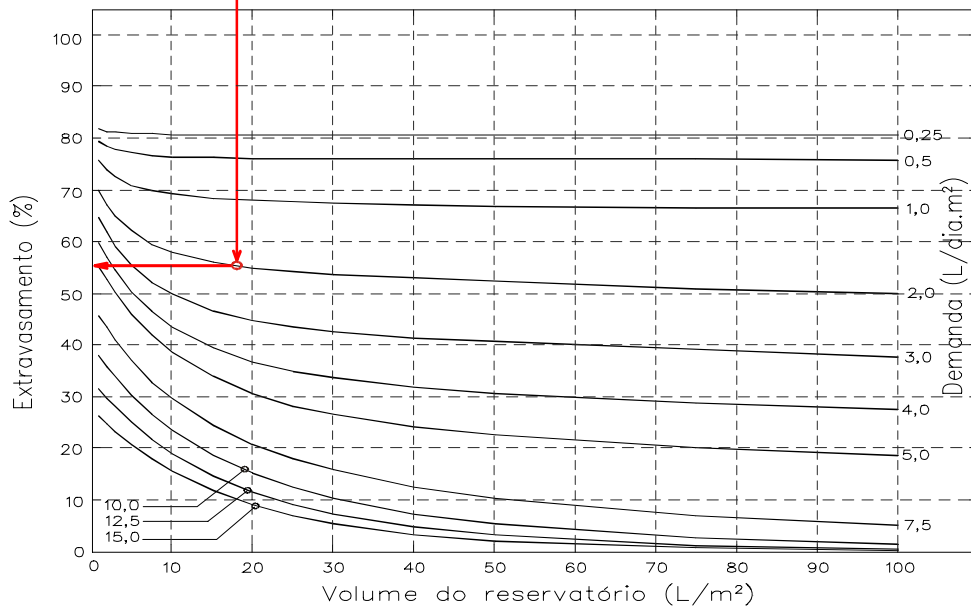
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 18,0L/m^2 \times 150m^2 = 2.700L$

% de extravasamento = **55,5%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO

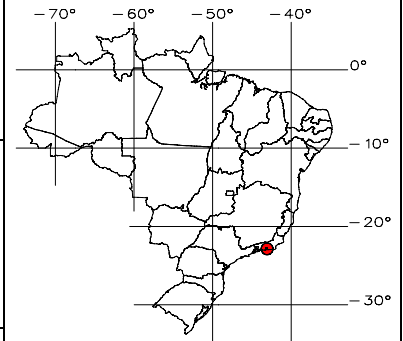


DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **RIO DE JANEIRO/RJ**

Nome do posto pluviométrico: CAMPO-GRANDE-7DR
Código ANA: 2243089
Disponibilidade: 1965 a 1994 (31 anos – 3,9% de falhas)
População (IBGE - 2010) 6.323.037hab

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

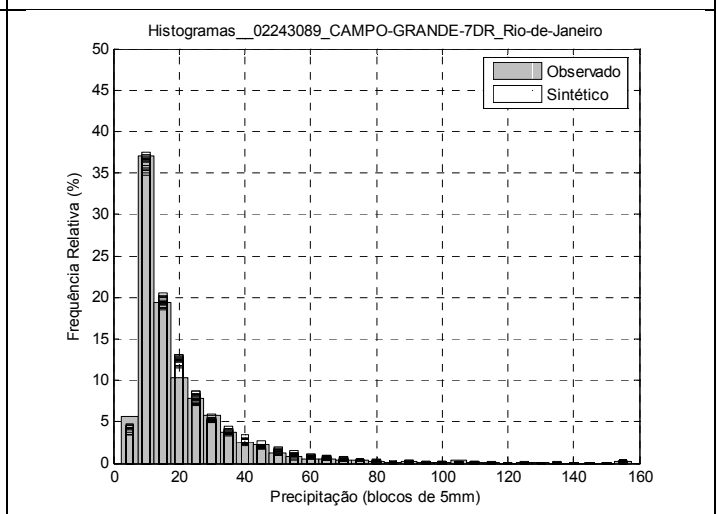
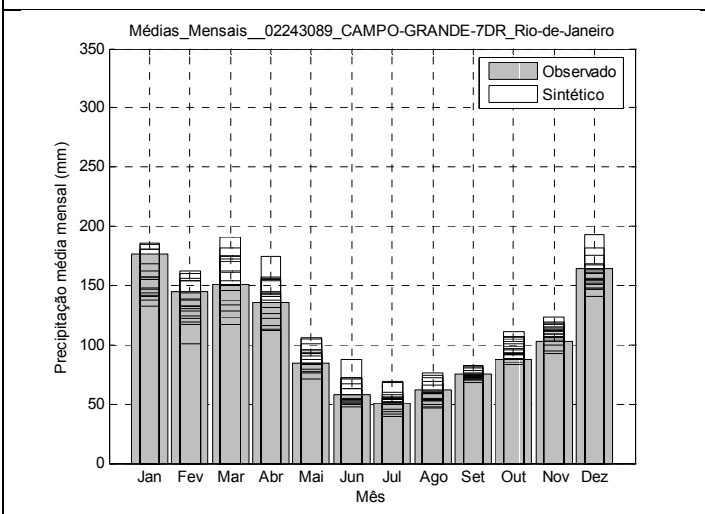
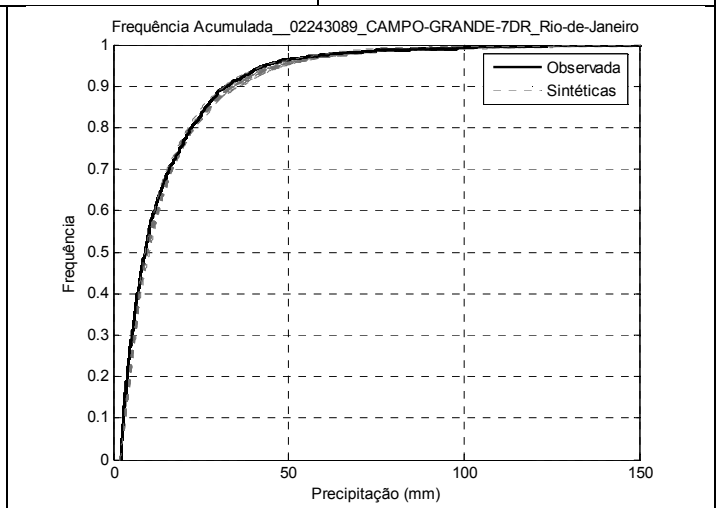
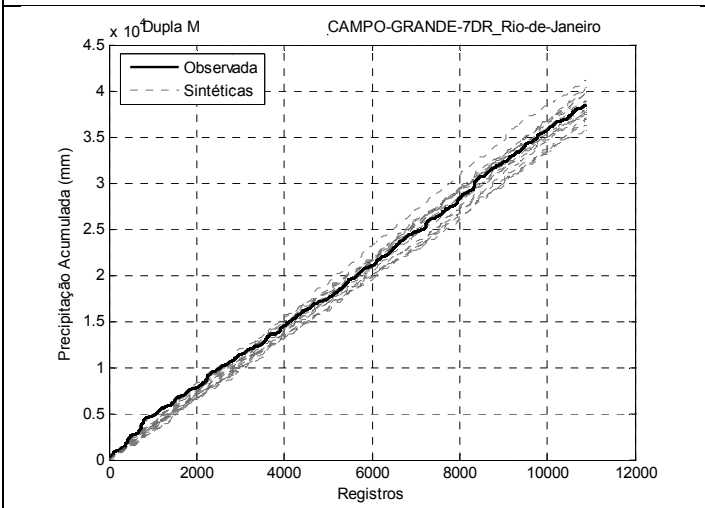


Rio de Janeiro/RJ
Lat. 22°55'04"S Long.43°32'41"W
Altitude: 18m

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	176	145	151	136	84	58	51	62	75	88	103	164
Média Sintética	157	136	154	140	89	59	53	60	75	96	109	160

Precipitação Média anual: 1.294mm (observada) 1.289mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

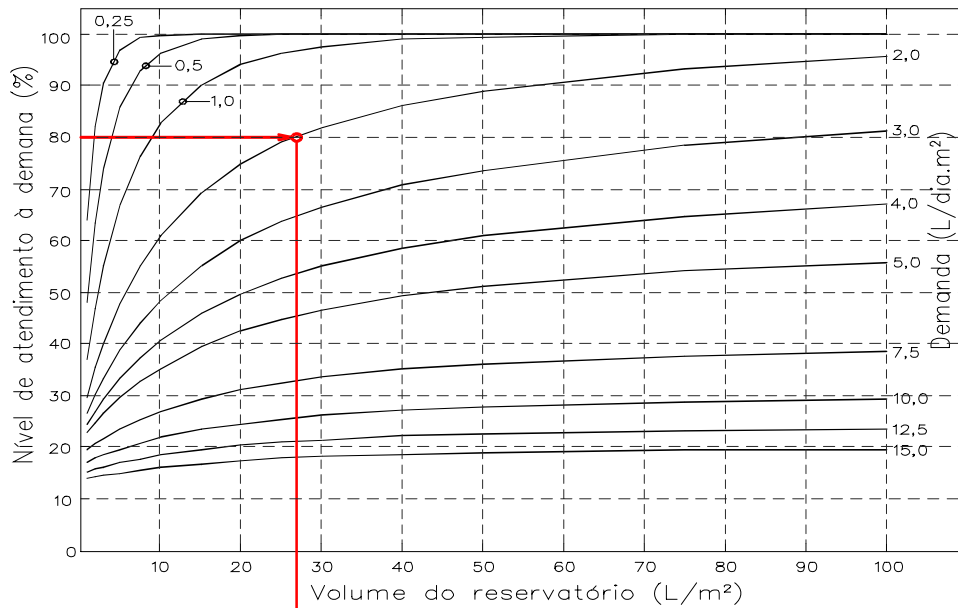
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

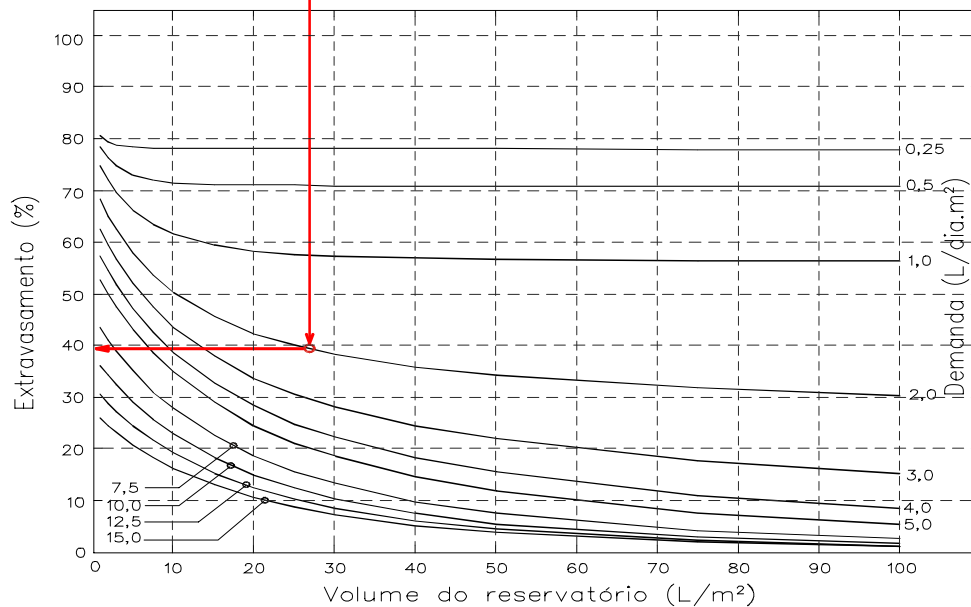
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 26,5L/m^2 \times 150m^2 = 3.975L$

% de extravasamento = **39%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO

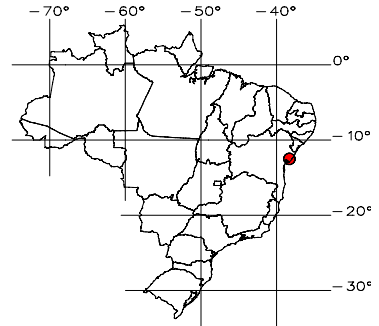




DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **SALVADOR/BA**

Nome do posto pluviométrico: SALVADOR
Código ANA: 1338003
Disponibilidade: 1911 a 1985 (75 anos – 31,6% de falhas)
População (IBGE - 2010): 2.676.606 hab



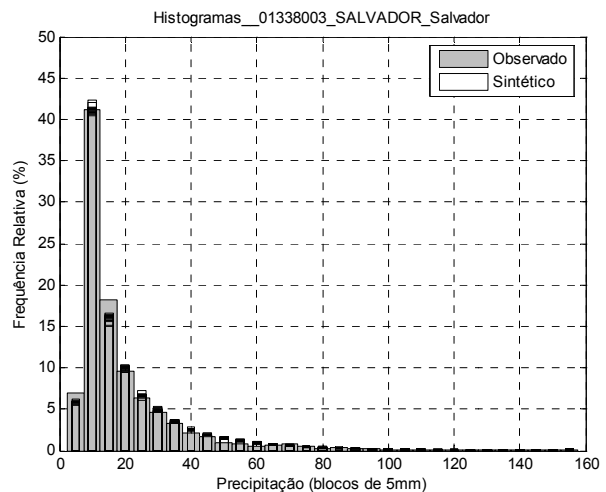
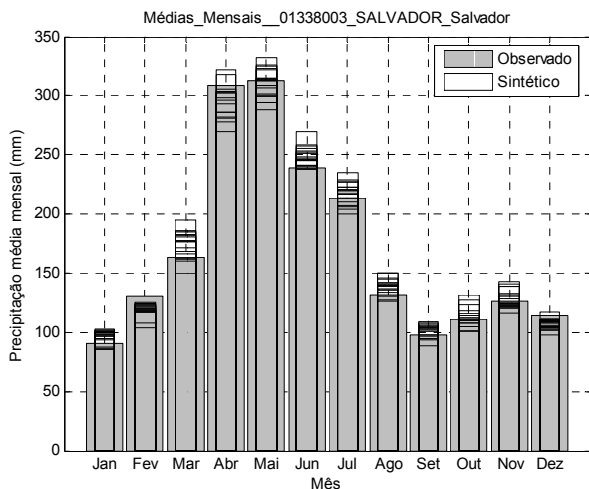
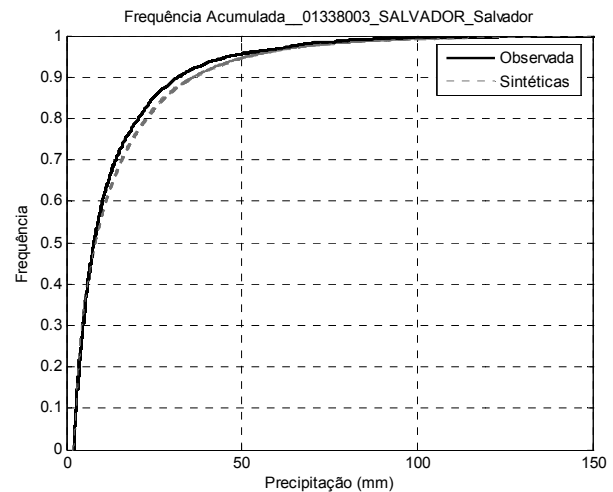
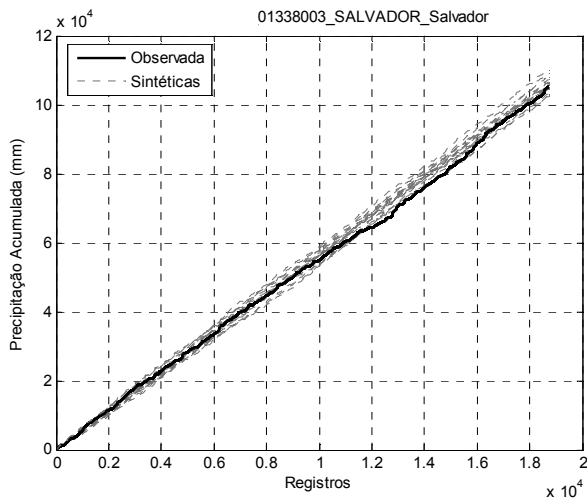
Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	91	131	163	309	313	239	214	131	97	111	126	114
Média Sintética	96	119	174	297	311	248	218	139	100	112	128	107

Salvador/BA
Lat. 13°01'S Long.38°31'W
Altitude: 10m

Precipitação Média anual: 2.039mm (observada) 2.049mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

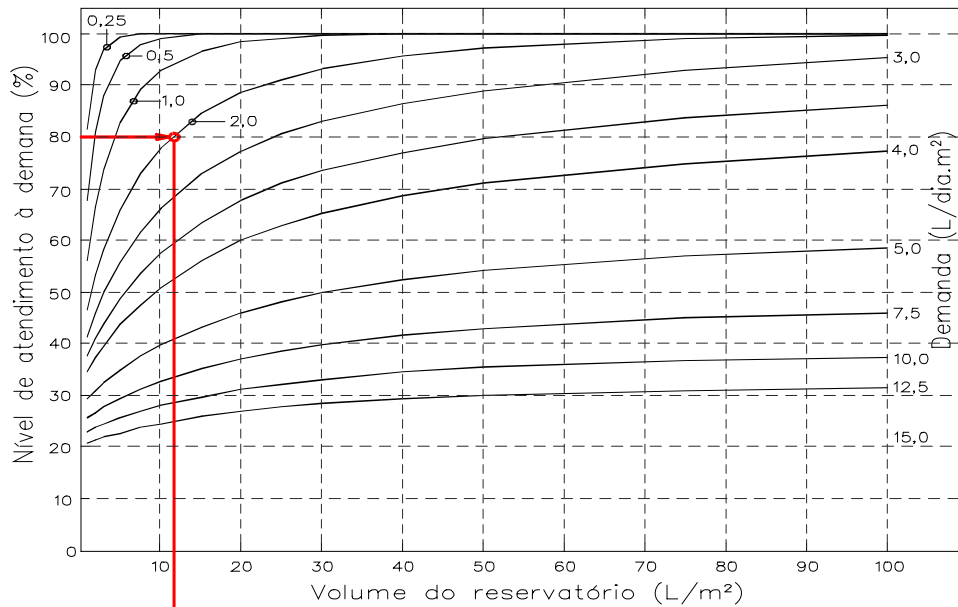
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

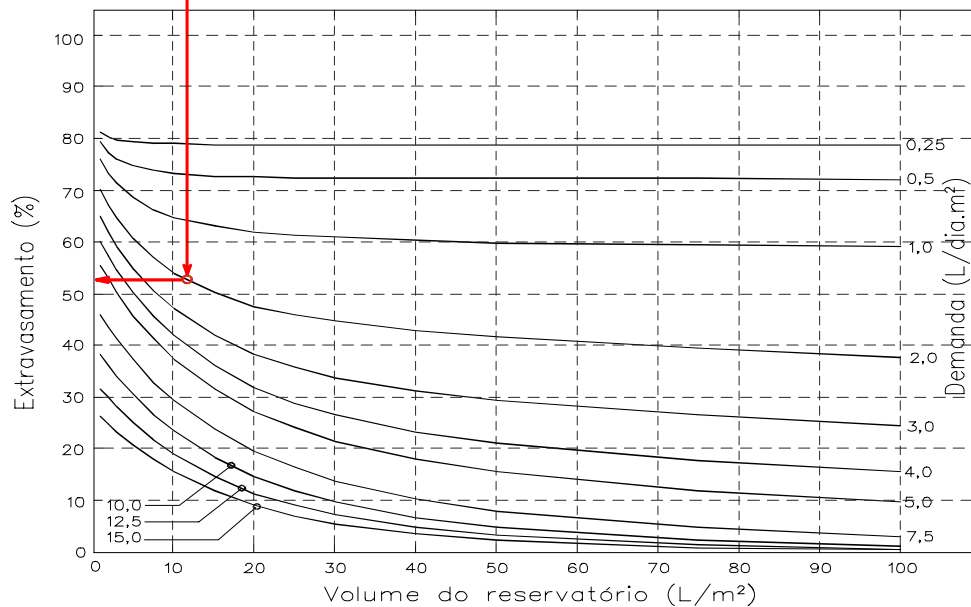
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 12,0L/m^2 \times 150m^2 = 1.800L$

% de extravasamento = **53%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



Instruções e exemplo para uso das tabelas:

1º Saber área de captação (A) em m²;

2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)

3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)

4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Obs. Nas tabelas os limites (superior e inferior) são referentes ao intervalo de confiança para 90% de significância.

Exemplo:

Área de captação = 150m² de telhado, Demanda por água não potável = 300L/dia

Du=2,0L/dia.m² - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo e=80%

Resultado: Volume do reservatório => interpolando entre 77,9% (10L/m²) e 84,5% (15L/m²) Vu =11,6L/m²

$$Vu \times A = 11,6L/m^2 \times 150m^2 = \mathbf{1.740L}$$

% de extravasamento => interpolando entre 57,4% (10L/m²) e 55,0% (15L/m²) => **56,6%**

DIMENSIONAMENTO

ATENDIMENTO À DEMANDA

EXTRAVASAMENTO

Demanda em (L/dia.m²)

Demanda em (L/dia.m²)

		Demanda em (L/dia.m ²)											Demanda em (L/dia.m ²)											
		0,25	0,5	1	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15	0,25	0,5	1	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15	
Volume do reservatório (L/m ²)	1	80,5	66,8	55,2	45,5	40,5	36,7	33,7	28,5	24,9	22,3	20,2	81,4	79,0	74,9	68,2	62,5	57,7	53,6	45,1	38,4	32,8	28,3	Limite (inf.)
		81,5	67,8	56,2	46,4	41,4	37,6	34,6	29,3	25,7	23,0	20,9	81,6	79,2	75,2	68,6	63,0	58,4	54,3	46,0	39,3	33,8	29,3	Média (%)
																								Limite (sup.)

Erros médios relativos em relação à simulação com a série observada

Nível de Atendimento à Demanda: 0,4% (dentro do intervalo de confiança)

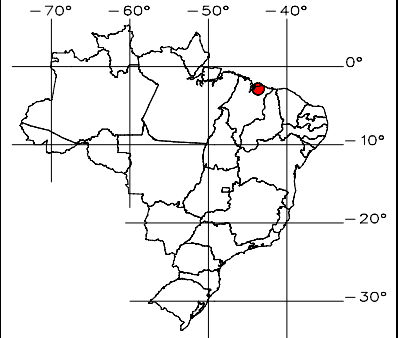
Percentual de Extravasamento: -1,5% (dentro do intervalo de confiança)



DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **SÃO LUIS/MA**

Nome do posto pluviométrico: SÃO LUIS
Código ANA: 24406
Disponibilidade: 1910 a 1998 (89 anos – 28,9% de falhas)
População (IBGE - 2010): 1.011.943 hab

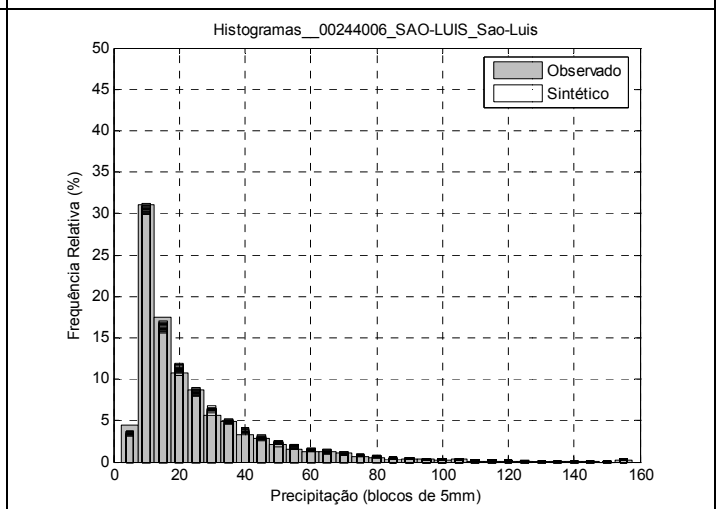
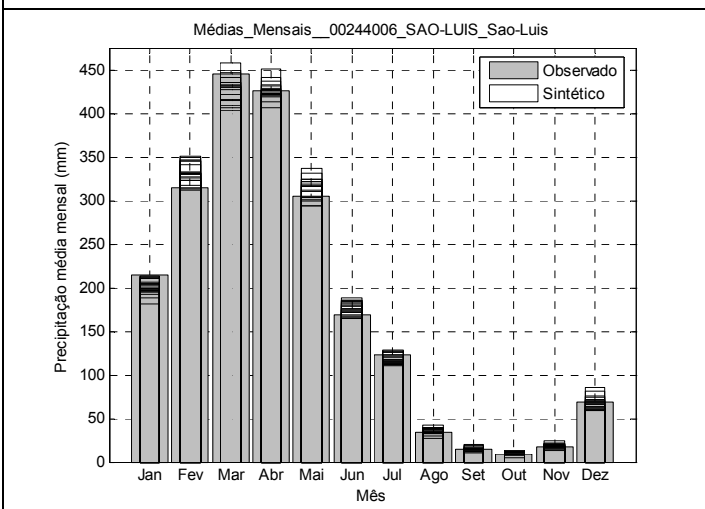
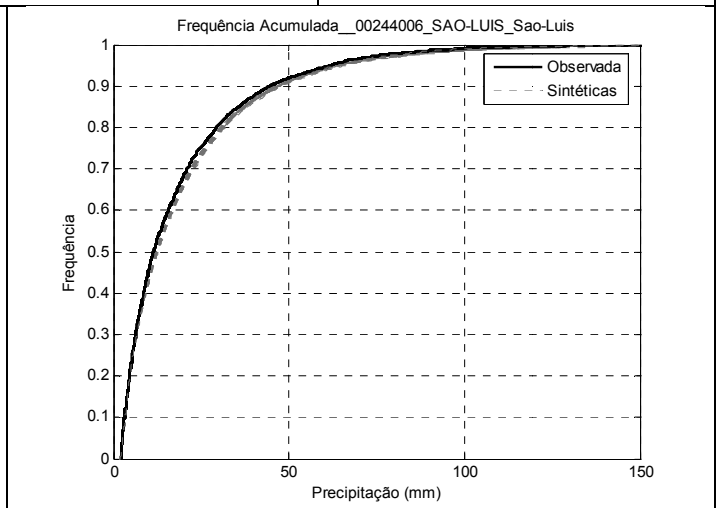
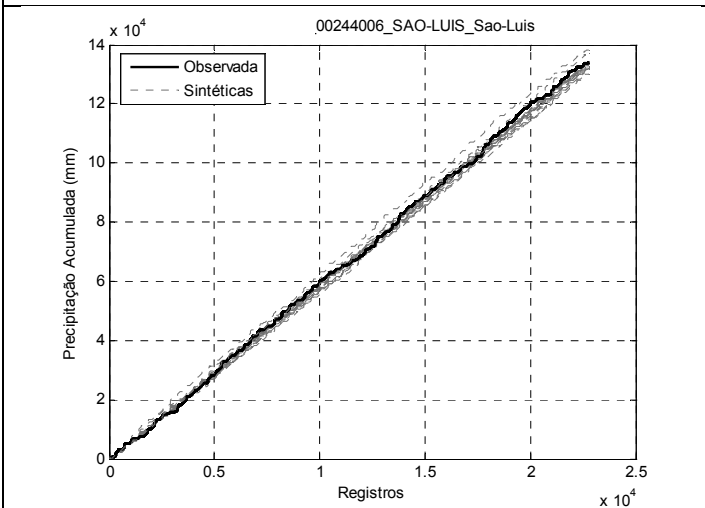


São Luis/MA
Lat. 2°32'S Long.44°13'W
Altitude: 51m

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	214	315	445	425	305	168	124	34	15	9	18	69
Média Sintética	200	332	428	426	313	176	118	36	15	10	19	68
Precipitação Média anual:						1.141mm (observada)			1.140mm (sintética)			



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

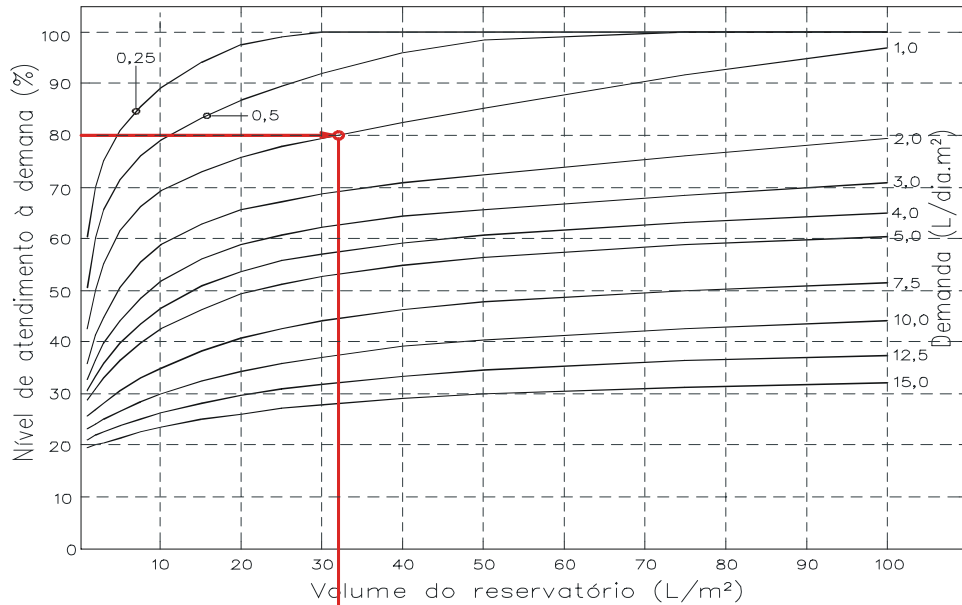
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $150L/dia$

$Du=1,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

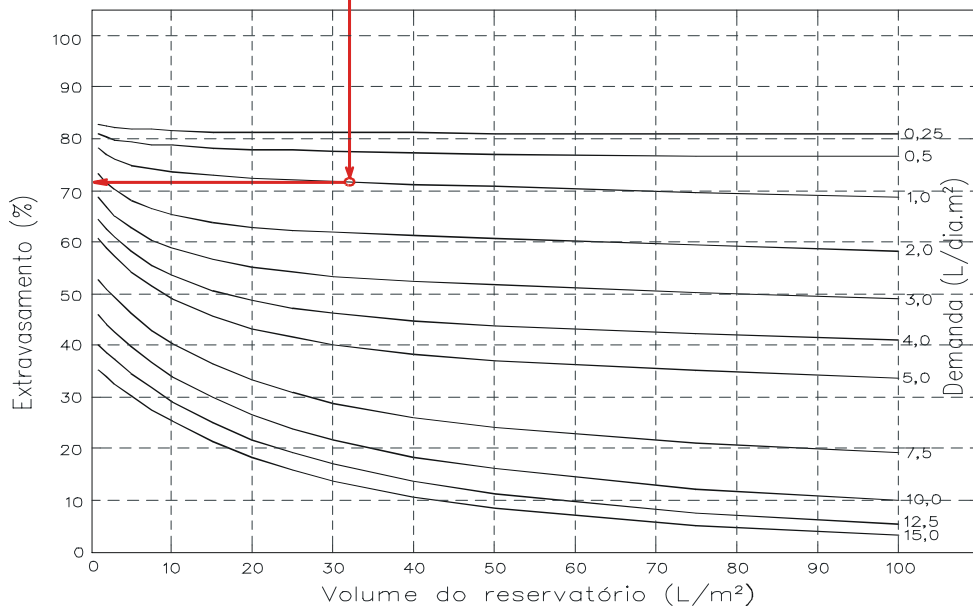
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 32,0L/m^2 \times 150m^2 = 4.800L$

% de extravasamento = **72%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



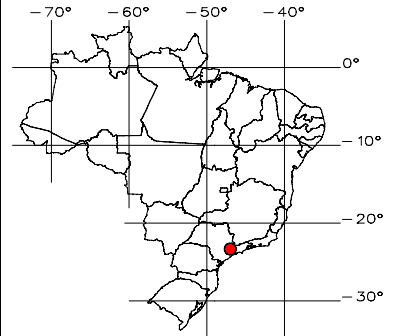


DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **SÃO PAULO/SP**

Nome do posto pluviométrico: LUZ-ESTAÇÃO
Código ANA: 3051011
Disponibilidade: 1900 a 2004 (106 anos – 5,8% de falhas)
População (IBGE - 2010): 11.244.369 hab

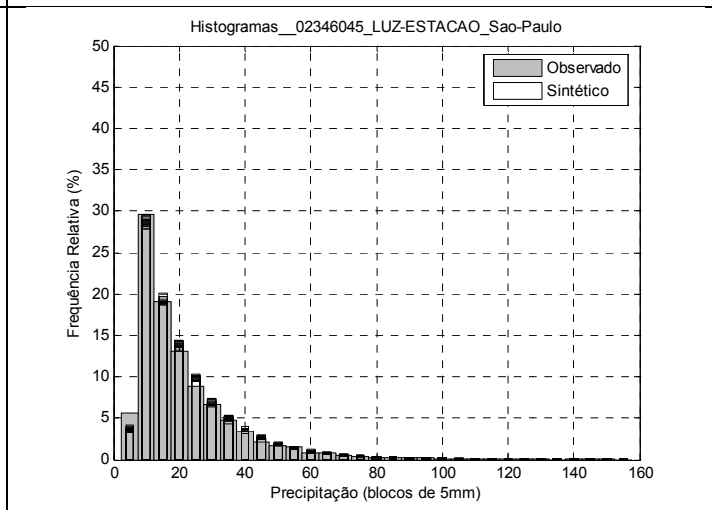
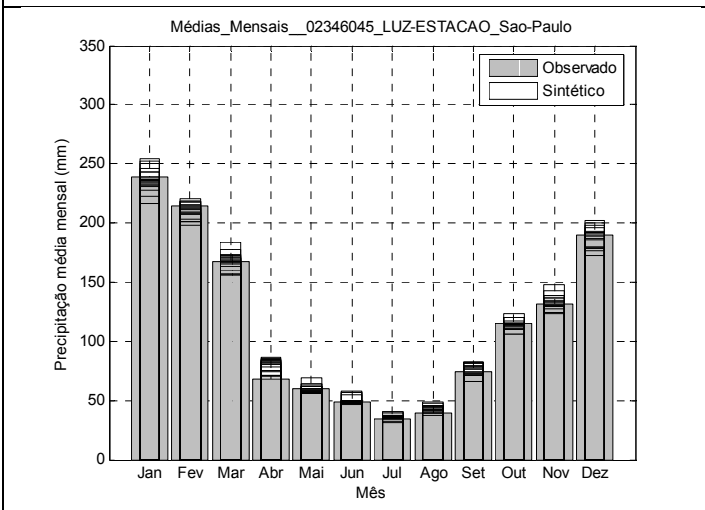
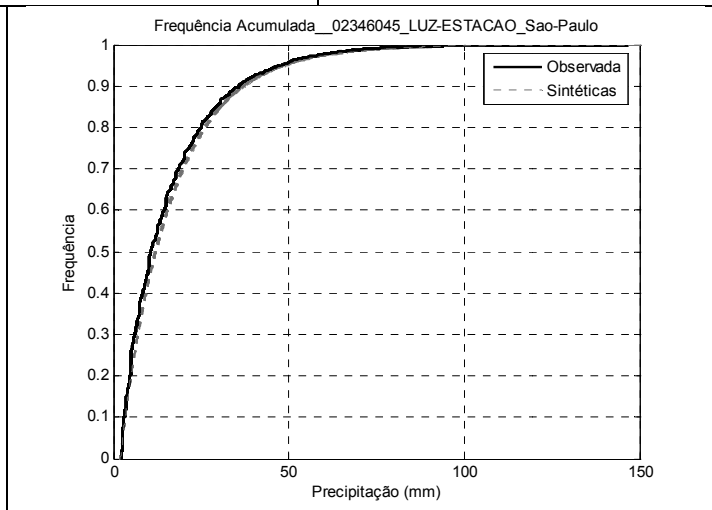
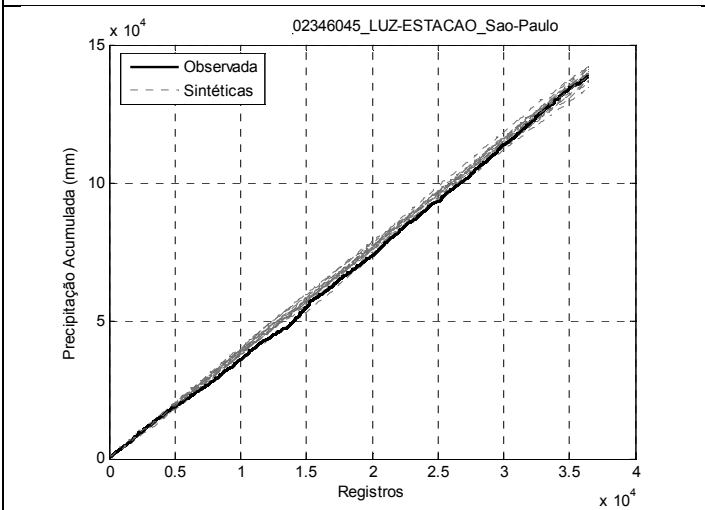
Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).



São Paulo/SP
Lat. 23°32'S Long.46°38'W
Altitude: 730m

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	239	215	167	68	60	49	35	39	74	115	131	190
Média Sintética	237	210	167	80	60	50	36	44	77	115	134	188
Precipitação Média anual:						1.381mm (observada)			1.397mm (sintética)			



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

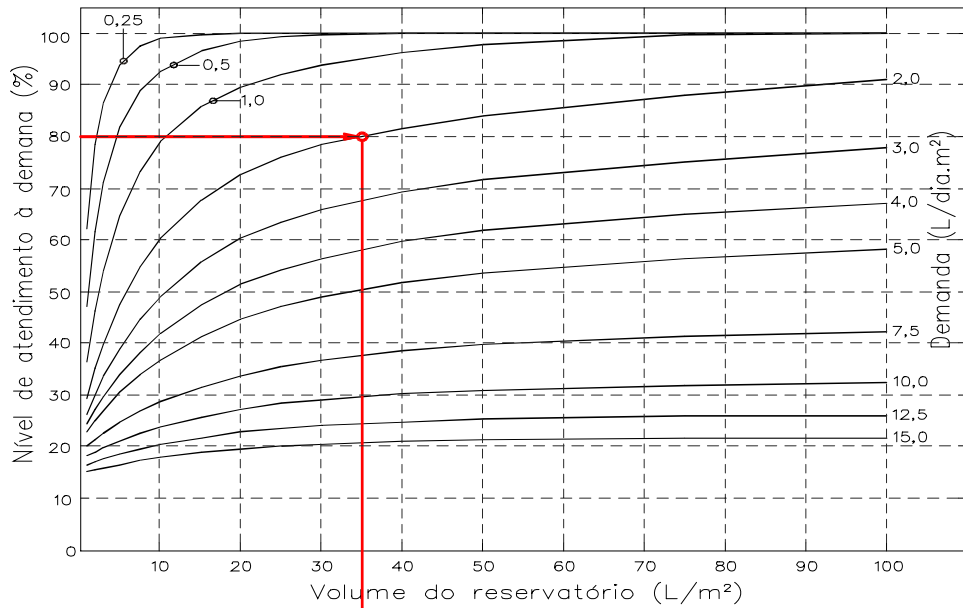
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

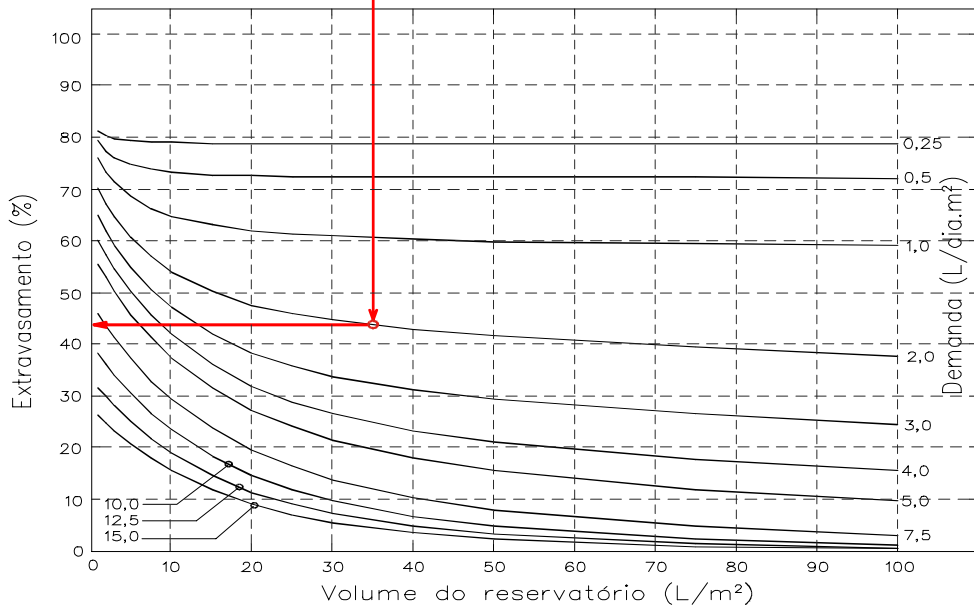
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 35,0L/m^2 \times 150m^2 = 5.520L$

% de extravasamento = **43%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO



Instruções e exemplo para uso das tabelas:

- 1º Saber área de captação (A) em m²;
 - 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
 - 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
 - 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)
- Obs. Nas tabelas os limites (superior e inferior) são referentes ao intervalo de confiança para 90% de significância.

Exemplo:

Área de captação = 150m² de telhado, Demanda por água não potável = 300L/dia

Du=2,0L/dia.m² - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo e=80%

Resultado: Volume do reservatório => interpolando entre 78,3% (30L/m²) e 81,6% (40L/m²) Vu =35,2L/m²

$$Vu \times A = 35,2L/m^2 \times 150m^2 = 5.280L$$

% de extravasamento => interpolando entre 44,5% (30L/m²) e 42,8% (40L/m²) => **43,6%**

DIMENSIONAMENTO

ATENDIMENTO À DEMANDA

EXTRAVASAMENTO

		Demanda em (L/dia.m ²)																								
		0,25	0,5	1	2	3	4	5	7,5	10	12,5	15														
Volume do reservatório (L/m ²)	1	60,4	45,6	35,3	28,3	25,4	23,5	22,1	19,4	17,4	15,8	14,5														
		62,1	47,1	36,5	29,3	26,3	24,4	22,9	20,2	18,2	16,5	15,1														
		63,9	48,6	37,7	30,3	27,2	25,2	23,7	21,0	18,9	17,2	15,8														
2	76,8	59,9	44,8	34,0	29,0	26,1	24,1	20,6	18,2	16,3	14,8															
	78,4	61,6	46,3	35,1	30,0	27,1	25,0	21,4	19,0	17,1	15,5															
	80,0	63,3	47,7	36,3	31,1	28,0	25,9	22,3	19,8	17,8	16,2															
3	85,1	69,2	52,2	38,3	32,4	28,5	25,9	21,7	18,9	16,8	15,2															
	86,5	70,9	53,8	39,7	33,5	29,6	26,9	22,6	19,7	17,6	15,9															
	87,9	72,7	55,5	41,0	34,7	30,7	27,9	23,5	20,5	18,4	16,6															
5	92,7	80,3	63,0	45,9	37,6	32,7	29,3	23,7	20,2	17,7	15,8															
	93,9	81,9	64,7	47,4	39,0	33,9	30,4	24,7	21,1	18,5	16,6															
	95,1	83,4	66,5	49,0	40,3	35,1	31,6	25,6	22,0	19,3	17,3															
7,5	96,6	87,5	71,5	53,0	43,0	36,9	32,6	25,8	21,6	18,7	16,5															
	97,5	88,8	73,3	54,7	44,6	38,3	33,9	26,9	22,6	19,5	17,3															
	98,5	90,2	75,1	56,5	46,2	39,7	35,1	28,0	23,5	20,4	18,1															
10	98,0	91,3	77,2	58,5	47,4	40,3	35,4	27,5	22,8	19,5	17,1															
	98,9	92,7	79,0	60,3	49,1	41,8	36,8	28,7	23,8	20,4	17,9															
	99,8	94,0	80,8	62,1	50,8	43,4	38,2	29,9	24,8	21,3	18,7															
15	99,3	95,5	84,0	65,8	53,8	45,6	39,7	30,3	24,6	20,8	18,0															
	99,8	96,6	85,7	67,7	55,7	47,4	41,3	31,6	25,7	21,8	18,9															
	100	97,7	87,4	69,6	57,6	49,1	42,9	32,9	26,9	22,7	19,7															
20	99,8	97,3	87,8	70,6	58,2	49,4	42,9	32,3	26,0	21,7	18,7															
	99,9	98,4	89,5	72,6	60,3	51,3	44,6	33,7	27,2	22,7	19,6															
	100	99,4	91,2	74,5	62,3	53,2	46,4	35,2	28,4	23,8	20,4															
25	99,9	98,3	90,3	73,9	61,4	52,2	45,3	33,9	27,0	22,4	19,2															
	100	99,2	91,9	75,9	63,5	54,3	47,1	35,4	28,2	23,5	20,1															
	100	100	93,5	77,9	65,7	56,3	49,0	36,9	29,5	24,5	21,0															
30	99,9	99,0	92,2	76,2	63,8	54,4	47,1	35,1	27,8	23,0	19,6															
	100	99,6	93,7	78,3	66,0	56,5	49,1	36,6	29,1	24,0	20,5															
	100	100	95,2	80,4	68,2	58,6	51,0	38,2	30,3	25,1	21,3															
40	99,9	99,7	94,8	79,5	67,1	57,4	49,8	36,9	29,0	23,7	20,1															
	100	99,9	96,1	81,6	69,4	59,6	51,8	38,4	30,2	24,8	21,0															
	100	100	97,4	83,8	71,7	61,9	53,9	40,0	31,5	25,8	21,9															
50	99,9	99,9	96,5	81,8	69,3	59,5	51,6	38,1	29,7	24,2	20,4															
	100	100	97,6	83,9	71,7	61,7	53,7	39,6	31,0	25,3	21,3															
	100	100	98,8	86,0	74,1	64,0	55,7	41,2	32,2	26,3	22,2															
75	99,9	99,9	98,9	85,8	72,7	62,5	54,4	39,7	30,6	24,7	20,7															
	100	100	99,5	87,8	75,2	64,9	56,4	41,3	31,9	25,8	21,7															
	100	100	100	89,9	77,7	67,2	58,5	42,9	33,3	27,0	22,6															
100	99,9	99,9	99,7	89,2	75,2	64,5	56,0	40,4	30,9	24,9	20,8															
	100	100	99,9	91,1	77,7	66,9	58,1	42,2	32,3	26,1	21,8															
	100	100	100	92,9	80,2	69,4	60,2	43,9	33,7	27,2	22,8															

Erros médios relativos em relação à simulação com a série observada

Nível de Atendimento à Demanda: -0,1% (dentro do intervalo de confiança)

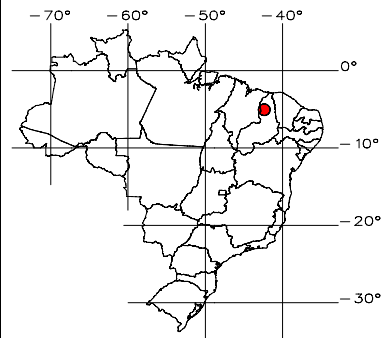
Percentual de Extravasamento: 0,1% (dentro do intervalo de confiança)

DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Município: **TERESINA/PI**

Nome dos postos pluviométricos: TERESINA-CHESEF
Código ANA: 542012
Disponibilidade: 1913 a 2011 (99 anos – 5,5% de falhas)
População (IBGE - 2010): 814.439hab

Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).

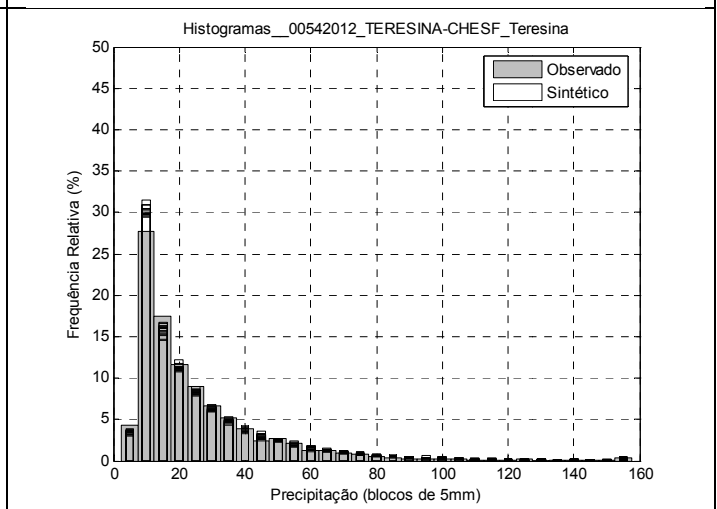
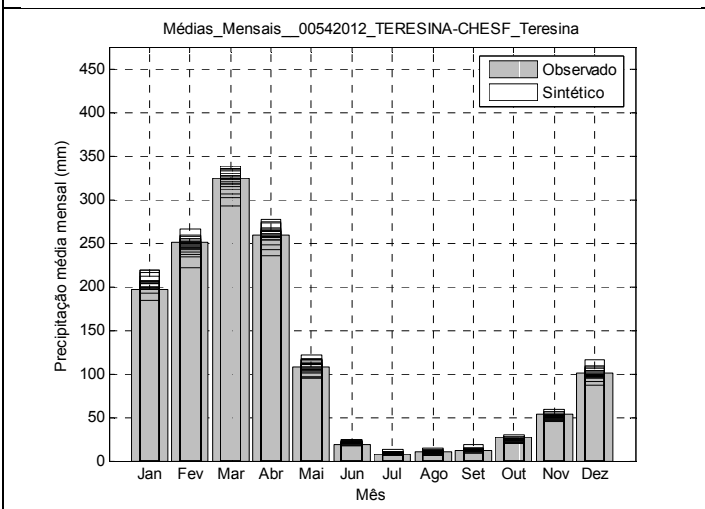
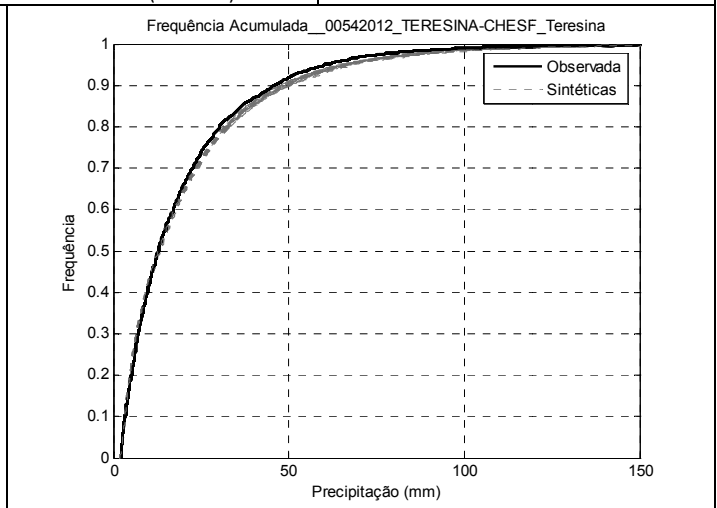
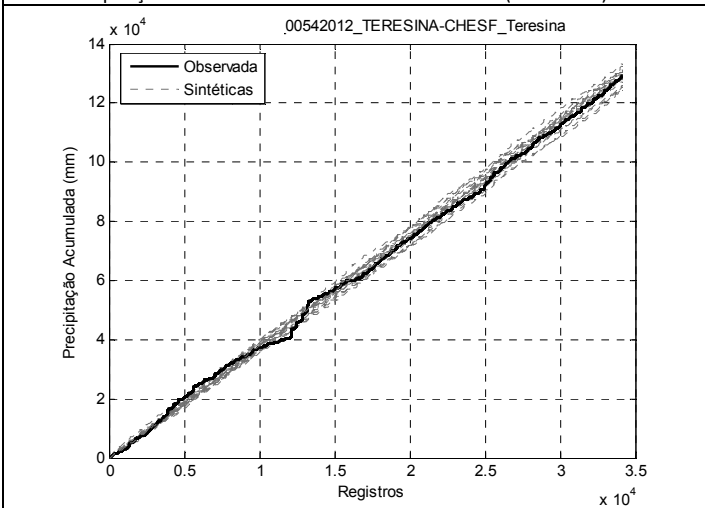


Teresina/PI
Lat. 5°05'16"S Long. 42°47'57"W
Altitude: 100m

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado	197	250	325	259	107	19	8	11	12	28	53	100
Média Sintética	204	247	321	260	108	21	9	10	12	23	51	100

Precipitação Média anual: 1.369mm (observada) 1.366mm (sintética)



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

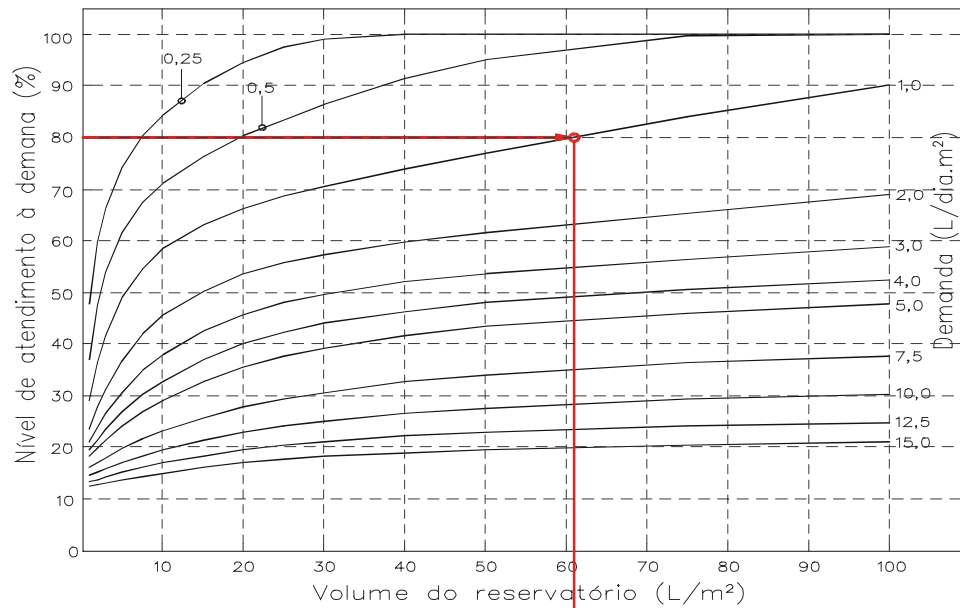
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $150L/dia$

$Du=1,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

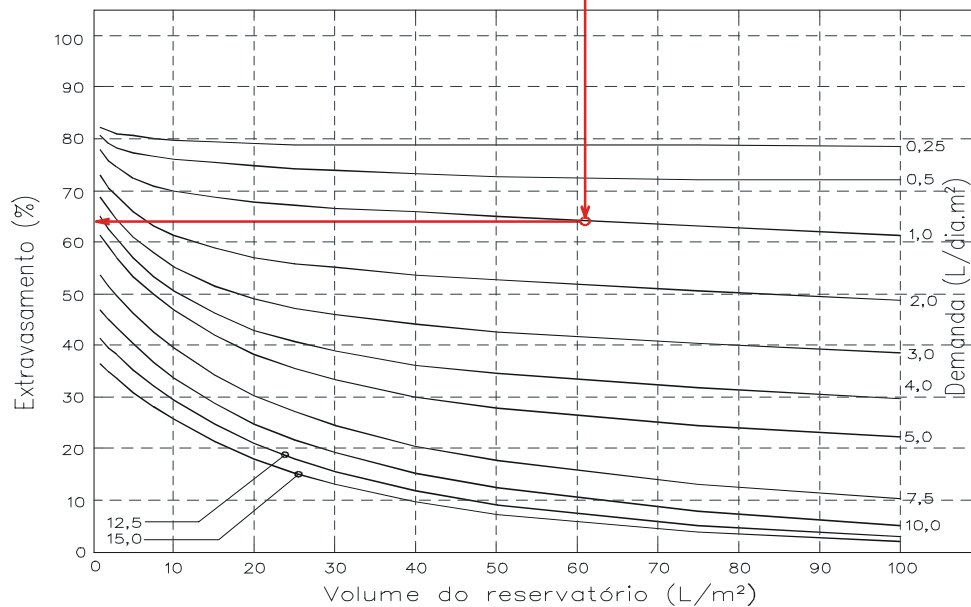
Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 61,0L/m^2 \times 150m^2 = 9.150L$

% de extravasamento = **64%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO

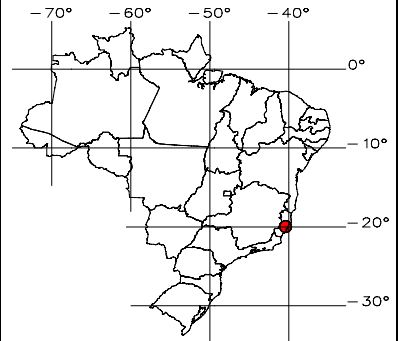




DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL
Município: **VITÓRIA/ES**

Nome dos postos pluviométricos: VITORIA
Códigos ANA: 2040035
Disponibilidade: 1925 a 1998 (74 anos – 6,7% de falhas)
População (IBGE - 2010): 325.453 hab

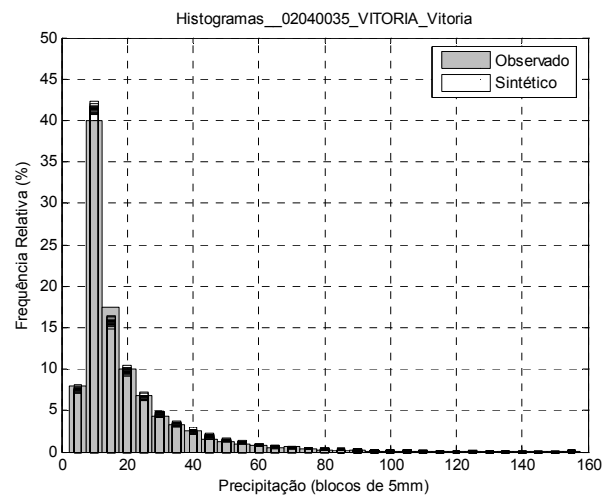
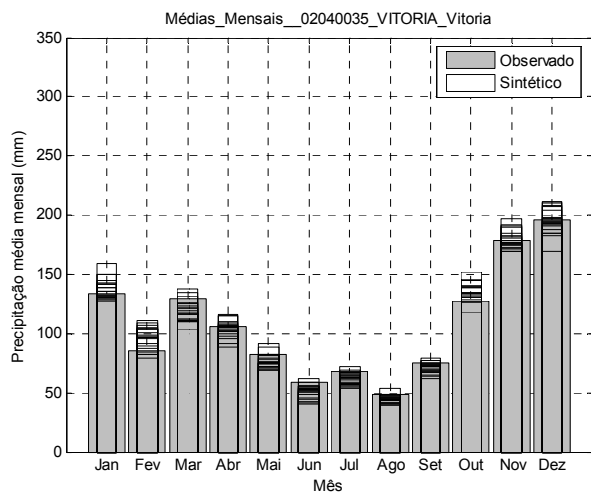
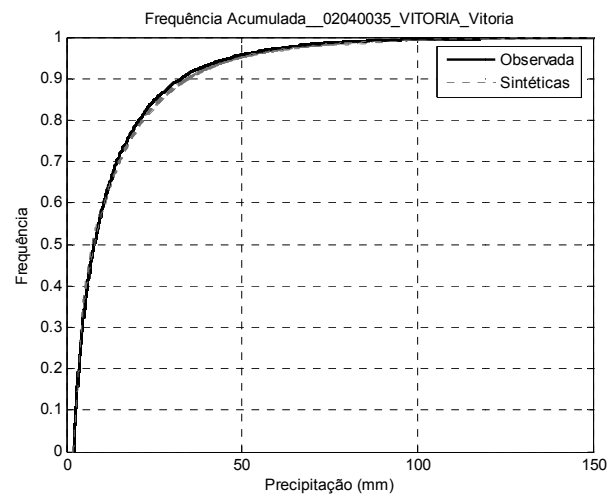
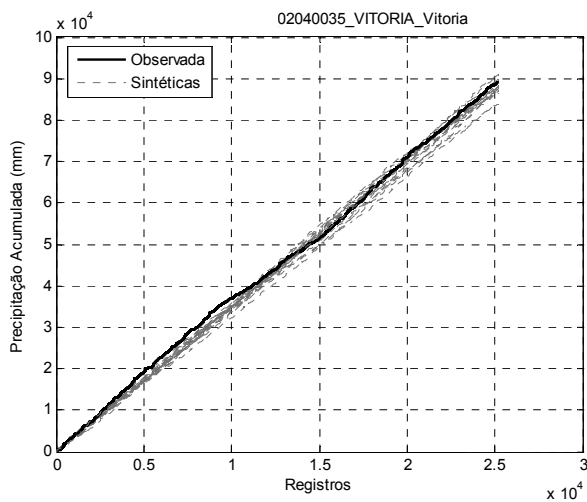
Os ábacos de dimensionamento foram obtidos do comportamento médio do sistema de aproveitamento de água de chuva por simulação de balanço de massa a partir de séries sintéticas de precipitação. A qualidade das séries sintética é apresentada em comparações com séries de mesmo número de anos (séries observadas e sintéticas).



Vitória/ES
Lat. 20°19'S Long.40°20'W
Altitude: 9m

Qualidade das séries sintéticas

P(mm)/Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Observado												
Média Sintética												
Precipitação Média anual:	1.482mm (observada)						1.477mm (sintética)					



Instruções e exemplo para uso dos ábacos:

- 1º Saber área de captação (A) em m^2 ;
- 2º Fixar ou a demanda diária por água não potável (D) ou o volume do reservatório (V)
- 3º Dividir a demanda e o volume pela área de captação (Du) e (Vu)
- 4º Adotar um índice de desempenho: % de extravasamento (Ex) ou nível de atendimento à demanda por água não potável (e)

Exemplo:

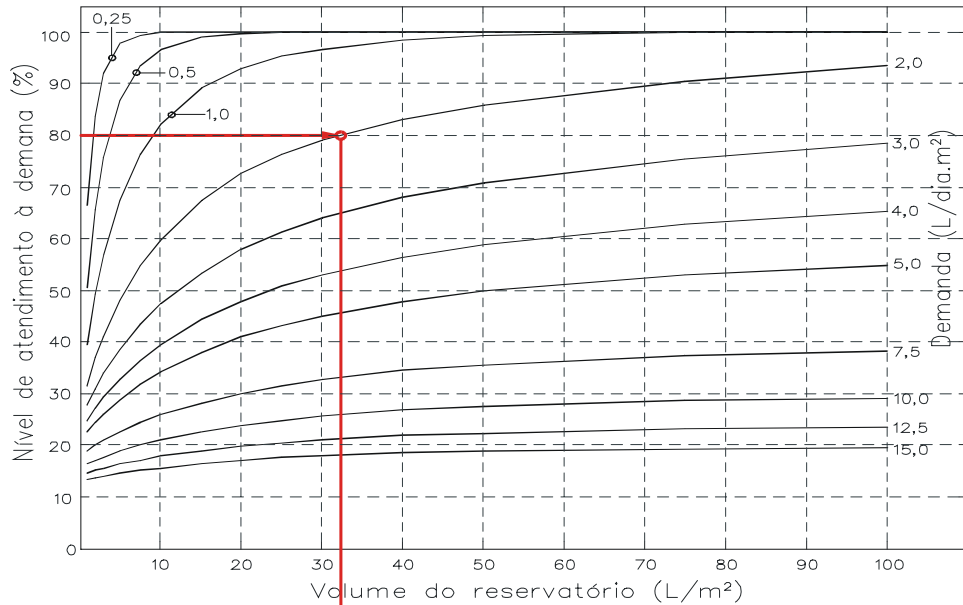
Área de captação = $150m^2$ de telhado, Demanda por água não potável = $300L/dia$

$Du=2,0L/dia.m^2$ - Deseja-se 80% de atendimento à demanda, logo $e=80\%$

Resultado: Volume do reservatório $\Rightarrow Vu \times A = 32,5L/m^2 \times 150m^2 = 4.875L$

% de extravasamento = **39%**

DIMENSIONAMENTO PELO ATENDIMENTO À DEMANDA



DIMENSIONAMENTO PELO EXTRAVASAMENTO

