

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Carolina Kuhn Novakoski

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS:
DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO PARA
APLICAÇÃO EM RESIDÊNCIAS DE PADRÃO ALTO,
NORMAL E BAIXO EM PORTO ALEGRE - RS**

Porto Alegre
junho 2014

CAROLINA KUHN NOVAKOSKI

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS:
DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO PARA
APLICAÇÃO EM RESIDÊNCIAS DE PADRÃO ALTO,
NORMAL E BAIXO EM PORTO ALEGRE - RS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Marcelo Giulian Marques
Co-orientadora: Eliane Conterato

Porto Alegre
junho 2014

CAROLINA KUHN NOVAKOSKI

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS:
DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO PARA
APLICAÇÃO EM RESIDÊNCIAS DE PADRÃO ALTO,
NORMAL E BAIXO EM PORTO ALEGRE - RS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelos Orientadores e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2014

Prof Marcelo Giulian Marques
Phd. pela Université Laval
Orientador

Eliane Conterato
Me. Pela UFRGS
Coorientadora

Profa. Carin Maria Schmitt
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Maurício Dai Prá (UFPEL)
Dr. pela UFRGS

Prof. Luiz Magalhães Endres (UFRGS)
Dr. pela UFRGS

Prof. Marcelo Giulian Marques
Phd. pela Université Laval

Dedico este trabalho a meus pais, Artur e Tânia, pela
motivação, dedicação e apoio constantes.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Marcelo Marques, por ser orientador deste trabalho, pela dedicação e ensinamentos durante o tempo em que fui sua aluna, bolsista de iniciação científica no Laboratório de Obras Hidráulicas e orientanda do trabalho de conclusão de curso. Pela paciência e por todas as horas de trabalho dispensadas a mim.

À Eliane Conterato, coorientadora deste trabalho, pela amizade e por todo o auxílio e apoio constantes durante os trabalhos no laboratório de Obras Hidráulicas e durante a elaboração do TCC.

Aos meus pais, Tânia e Artur, por tudo. Por incentivarem, desde sempre, meus estudos, por vibrarem comigo a cada conquista e por estarem comigo em todos os momentos da minha vida. Pela paciência, apoio e dedicação infinitos durante toda a graduação e também, durante todos os outros anos.

À toda a minha família pela amizade e por aceitarem, muitas vezes durante o curso, as minhas desculpas de não comparecimento aos encontros familiares por ter que estudar.

Ao João, por estar ao meu lado, pelo companheirismo nas horas de descanso e em todas as outras de estudos juntos. Pelo carinho, apoio e cumplicidade em todos os momentos.

Aos meus colegas de graduação, principalmente, às minhas amigas Anne, Lorena e Fernanda, pelos risos e pelos estudos juntas, enfim, pela amizade.

Agradeço aos professores da UFGRS que souberam transmitir seus conhecimentos com excelência, aos que acreditaram em nós, alunos, e na nossa aprovação mesmo nos momentos críticos.

O futuro pertence àqueles que acreditam na
beleza de seus sonhos.

Eleanor Roosevelt

RESUMO

Os mananciais que abastecem as cidades têm se tornado escassos devido ao aumento da população e da poluição lançada aos mesmos. Diante disso, são necessárias medidas capazes de reverter essa situação. Dentro dessas medidas se pode citar o aproveitamento de águas pluviais, o reúso das águas cinzas e a utilização de equipamentos com baixo consumo de água. Esses sistemas contribuem com a preservação e substituição de fontes de recursos hídricos, ou seja, a utilização da água potável para fins realmente necessários, sem desperdícios. Além desse benefício, o aproveitamento da água da chuva ainda contribui com o combate às inundações urbanas e o reúso das águas cinzas diminui a emissão de poluentes aos mananciais. O sistema de aproveitamento de águas pluviais para uso residencial não potável consiste na captação da água da chuva através de uma superfície de captação e posterior distribuição da mesma para bacias sanitárias e torneiras externas. O presente trabalho propõe uma metodologia que permite o dimensionamento do reservatório do sistema de aproveitamento de água da chuva para uso residencial não potável. Para o desenvolvimento da metodologia, foram utilizados dados de precipitação da cidade de Porto Alegre fornecidos pela Agência Nacional de Águas. Após o tratamento e análise desses dados foram aplicados diversos métodos de dimensionamento do reservatório do sistema de aproveitamento de água em três padrões de residências (alto, normal e baixo), para seleção do mais adequado. Através das análises pôde-se concluir que o método ideal para dimensionamento do reservatório de águas pluviais para residências unifamiliares é o método da simulação com valores diários. O método que apresenta uma maior discrepância em relação aos outros é o método de Rippl com valores mensais, que exige volumes de reservatório muito maiores do que é necessário. Através dos resultados obtidos foi desenvolvida uma metodologia para determinar o volume do reservatório em função da probabilidade de falha.

Palavras-chave: Aproveitamento de Águas Pluviais. Uso Residencial Não Potável.
Dimensionamento do Reservatório.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas da pesquisa.....	22
Figura 2 – Distribuição da água doce na Terra.....	24
Figura 3 – Potenciais de água doce dos continentes e influência da população.....	25
Figura 4 – Sistema dual de água fria: água potável e não potável.....	36
Figura 5 – Superfícies de captação.....	38
Figura 6 – Reservatório de auto-limpeza com torneira boia.....	40
Figura 7 – Dispositivo de gradeamento.....	41
Figura 8 – Gráfico GA50C01.....	47
Figura 9 – Planta baixa da residência de padrão alto.....	56
Figura 10 – Planta baixa da residência de padrão normal.....	57
Figura 11 – Planta baixa da residência de padrão baixo.....	58
Figura 12 – Valores médios mensais de pluviometria para Porto Alegre.....	66
Figura 13 – Valores mínimos mensais de pluviometria para Porto Alegre.....	66
Figura 14 – Valores máximos mensais de pluviometria para Porto Alegre.....	66
Figura 15 – Valores mensais de pluviometria do ano mais seco para Porto Alegre.....	67
Figura 16 – Valores mensais de pluviometria do ano mais úmido para Porto Alegre.....	67
Figura 17 – Resultados obtidos para o método da simulação com valores mensais e diários de pluviometria para residência de padrão alto.....	77
Figura 18 – Resultados obtidos para o método da simulação e método da simulação modificado para residência de padrão alto.....	79
Figura 19 – Resultados obtidos para o método da simulação modificado para os meses de janeiro, maio e setembro para a residência de padrão alto.....	81
Figura 20 – Comparação entre o método da simulação aplicado com valores mensais e o método da simulação modificado aplicado com valores diários para a residência de padrão alto.....	86
Figura 21 – Volumes de reservatório para a residência de padrão alto.....	88
Figura 22 – Volumes de reservatório para a residência de padrão normal.....	88
Figura 23 – Volumes de reservatório para a residência de padrão baixo.....	88
Figura 24 – Volumes de reservatório x porcentagem de atendimento obtidos pelo método da simulação.....	93
Figura 25 – Volumes de reservatório x área de telhado obtidos pelo método da simulação modificado.....	94
Figura 26 – Ajustes para as curvas formadas pelas constantes a e b.....	95
Figura 27 – Volumes de reservatório x porcentagem de atendimento obtidos pelo método da simulação.....	97

Figura 28 – Volumes de reservatório x área de telhado obtidos pelo método da simulação.....	98
Figura 29 – Ajustes para as curvas formadas pelas constantes a e b para o método aplicado com a sequência de 5 anos mais secos.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Densidade de população dominante.....	26
Tabela 2 – Valores para coeficiente de escoamento superficial.....	37
Tabela 3 – Tratamento da água pluvial de acordo com sua destinação.....	39
Tabela 4 – Parâmetros de engenharia para estimativa da demanda residencial de água para uso externo.....	49
Tabela 5 – Parâmetros de engenharia para estimativa da demanda residencial de água para uso interno.....	50
Tabela 6 – Pontuação relacionada com a quantidade de itens de posse da família.....	52
Tabela 7 – Pontuação relacionada com a instrução do chefe da família.....	52
Tabela 8 – Pontuação total de cada classe.....	53
Tabela 9 – Características principais dos projetos-padrão para residências unifamiliares	53
Tabela 10 – Cálculo da área do telhado da residência de padrão alto.....	59
Tabela 11 – Cálculo da área do telhado da residência de padrão normal.....	60
Tabela 12 – Cálculo da área do telhado da residência de padrão baixo.....	60
Tabela 13 – Cálculo do número de moradores de cada residência.....	61
Tabela 14 – Consumo de água por aparelho sanitário para a residência de padrão alto...	62
Tabela 15 – Consumo de água por aparelho sanitário para a residência de padrão normal.....	63
Tabela 16 – Consumo de água por aparelho sanitário para residência de padrão baixo...	63
Tabela 17 – Consumo de água por residência.....	64
Tabela 18 – Informações sobre a estação 3051011 da ANA.....	65
Tabela 19 – Média anual de precipitação e número máximo de dias consecutivos sem chuva para a cidade de Porto Alegre.....	67
Tabela 20 – Definição de mês seco e úmido para a cidade de Porto Alegre.....	68
Tabela 21 – Volume do reservatório de auto-limpeza.....	69
Tabela 22 – Volume do reservatório obtido pelo método prático brasileiro com $T=1$	70
Tabela 23 – Volume do reservatório obtido pelo método prático brasileiro com $T=2$	71
Tabela 24 – Volume do reservatório obtido pelo método prático alemão.....	71
Tabela 25 – Volume do reservatório obtido pelo método prático inglês.....	72
Tabela 26 – Aplicação do método de Rippl para residência de padrão alto.....	74
Tabela 27 – Volume do reservatório obtido pelo método de Rippl com valores diários..	74
Tabela 28 – Volume do reservatório obtido pelo método de Rippl com valores mensais	73
Tabela 29 – Relação entre área de captação e consumo de água não potável.....	75

Tabela 30 – Aplicação do método da simulação para residência de padrão alto.....	76
Tabela 31 – Aplicação do método da simulação modificado para residência de padrão alto.....	78
Tabela 32 – Aplicação do método prático australiano para residência de padrão alto.....	82
Tabela 33 – Aplicação do método prático australiano para residência de padrão normal	83
Tabela 34 – Aplicação do método prático australiano para residência de padrão baixo...	84
Tabela 35 – Volume do reservatório obtido pelo método do maior período de estiagem	85
Tabela 36 – Relação entre o consumo diário de água não potável de uma pessoa e os demais consumos.....	91
Tabela 37 – Características das residências necessárias ao cálculo do volume do reservatório.....	102
Tabela 38 – Comparação entre volumes de reservatório obtidos com o método da simulação e com o método simplificado com 53 anos de dados.....	102
Tabela 39 – Comparação entre volumes de reservatório obtidos com o método da simulação e com o método simplificado com 53 anos de dados.....	102

LISTA DE SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

NBR – Norma Brasileira

LISTA DE SÍMBOLOS

A – área (m^2)

C – coeficiente de escoamento superficial

D – demanda diária para chuva (m^3)

$D_{(t)}$ – demanda ou consumo no tempo t (m^3)

I – interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação (mm)

M – média de precipitação (mm)

N – número de dias consecutivos sem chuvas

$P_{(t)}$ – precipitação (mm)

p – porcentagem de atendimento à demanda

V – volume do reservatório (m^3)

$Q_{(t)}$ – volume de chuva captada no tempo t (m^3)

$S_{(t)}$ – volume de água no reservatório no tempo t (m^3)

T – número de meses de pouca chuva ou seca

σ – desvio padrão

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	19
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	19
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	19
2.2.1 Objetivo principal	19
2.2.1 Objetivos secundários	19
2.3 HIPÓTESE	20
2.4 PRESSUPOSTO.....	20
2.5 PREMISA.....	20
2.6 DELIMITAÇÕES.....	20
2.7 LIMITAÇÕES.....	21
2.8 DELINEAMENTO.....	21
3. ESCASSEZ DA ÁGUA	24
3.1 SITUAÇÃO DA ÁGUA NA TERRA.....	24
3.2 SITUAÇÃO DA ÁGUA NO BRASIL.....	26
4. MEDIDAS DE COMBATE À ESCASSES DA ÁGUA	28
4.1 REÚSO DE ÁGUA.....	28
4.1.1 Reúso indireto da água	29
4.1.2 Reúso direto da água	39
4.1.4 Reúso potável	29
4.1.5 Reúso não potável	29
4.2 APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	30
4.3 DISPOSITIVOS POUPADORES DE ÁGUA.....	32
4.3.1 Torneiras	32
4.3.1.1 Arejadores.....	32
4.3.1.2 Pulverizadores.....	33
4.3.1.3 Fechamento automático e acionamento fotoelétrico.....	33

4.3.2 Bacias sanitárias.....	33
4.3.2.1 Bacia sanitária de volume de descarga reduzido.....	34
4.3.2.2 Válvula de descarga com duplo acionamento.....	34
4.3.3 Chuveiros.....	34
5. SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS – USO RESIDENCIAL NÃO POTÁVEL.....	35
5.1 SUPERFÍCIE DE CAPTAÇÃO.....	36
5.2 CALHAS E TUBULAÇÕES.....	38
5.3 TRATAMENTOS.....	39
5.3.1 Reservatório de auto-limpeza com torneira boia.....	40
5.3.2 Filtro de areia.....	41
5.3.3 Dispositivo de gradeamento.....	41
5.4 BOMBAS E SISTEMAS PRESSURIZADOS.....	42
5.5 RESERVATÓRIOS.....	42
5.6 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....	42
5.6.1 Método de Rippl.....	42
5.6.2 Método do maior período de estiagem.....	42
5.6.3 Método prático brasileiro.....	42
5.6.4 Método da simulação.....	45
5.6.5 Método prático alemão.....	47
5.6.6 Método prático inglês.....	47
5.6.7 Método prático australiano.....	48
6. CONSUMO DE ÁGUA.....	49
7. DEFINIÇÃO DE RESIDÊNCIAS DE ALTO, NORMAL E BAIXO PADRÃO..	51
8. LEVANTAMENTO DE DADOS.....	54
8.1 ESCOLHA DAS RESIDÊNCIAS DE PADRÃO ALTO, NORMAL E BAIXO.....	54
8.2 CÁLCULO DA ÁREA DO TELHADO.....	59
8.3 CÁLCULO DO NÚMERO DE PESSOAS.....	60
8.4 CÁLCULO DO CONSUMO DE ÁGUA.....	61
8.4.1 Residência de padrão alto.....	62
8.4.2 Residência de padrão normal.....	62
8.4.3 Residência de padrão baixo.....	63
8.4.4 Consumo total de água.....	64
8.5 CARACTERIZAÇÃO DA PLUVIOMETRIA DE PORTO ALEGRE.....	64

9. APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....	69
9.1 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE AUTO-LIMPEZA.....	69
9.2 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	70
9.2.1 Método prático brasileiro.....	70
9.2.1 Método prático alemão.....	71
9.2.1 Método prático inglês.....	71
9.2.1 Método de Rippl.....	72
9.2.1 Método da simulação.....	75
9.2.1 Método prático australiano.....	80
9.2.1 Método do maior período de estiagem.....	85
9.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....	85
10. PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA SIMPLIFICADA PARA DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	90
10.1 CÁLCULO DA DEMANDA.....	90
10.2 ESTABELECIMENTO DE RELAÇÕES ENTRE OS CONSUMOS DE ÁGUA NÃO POTÁVEL EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR.....	91
10.3 ESTABELECIMENTO DE RELAÇÃO ENTRE VOLUME DO RESERVATÓRIO, PORCENTAGEM DE ATENDIMENTO E ÁREA DE CAPTAÇÃO PARA 53 ANOS DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO.....	91
10.4 AJUSTE DE EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DO VOLUME IDEAL DO RESERVATÓRIO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA 53 ANOS DE DADOS.....	95
10.5 ESTABELECIMENTO DE RELAÇÃO ENTRE VOLUME DO RESERVATÓRIO, PORCENTAGEM DE ATENDIMENTO E ÁREA DE CAPTAÇÃO PARA OS 5 ANOS MAIS SECOS.....	96
10.6 AJUSTE DE EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DO VOLUME IDEAL DO RESERVATÓRIO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA OS 5 ANOS MAIS SECOS.....	99
11. APLICAÇÃO NAS RESIDÊNCIAS SELECIONADAS.....	101
12. CONCLUSÕES.....	105

REFERÊNCIAS.....	107
APÊNDICE A.....	110
APÊNDICE B.....	113
APÊNDICE C.....	116
APÊNDICE D.....	119
APÊNDICE E.....	121
APÊNDICE F.....	124
APÊNDICE G.....	127
APÊNDICE H.....	130
APÊNDICE I.....	133

1 INTRODUÇÃO

Segundo Sperancetta et al. (2004, p. 31), 97,5% da água existente na Terra está nos oceanos e apenas 2,5% está em ciclo de evaporação, neve, chuva e gelo. Os autores ainda ressaltam que 68,7% da água doce presente no Planeta está permanentemente na forma de gelo e neve, 30% é subterrânea e, as existentes em rios, lagos e reservatórios, que são as mais acessíveis economicamente para o abastecimento das cidades, compreendem apenas 0,26%.

Assim, as águas utilizadas para abastecimento das cidades provêm, na sua maior parte, desta pequena quantidade de água doce presente na Terra e, como agravante, grande parte da população fica concentrada em locais que sofrem com carência de água. Com o aumento populacional e a industrialização crescente, os mananciais estão se tornando escassos, além de ter sua qualidade comprometida. Diante disto, torna-se necessária a implantação de medidas capazes de reverter essa situação. Dentro dessas medidas podem ser citados os sistemas de aproveitamento das águas pluviais e de reúso das águas cinzas bem como a utilização de equipamentos com baixo consumo de água. Esses sistemas citados contribuem com a redução da vazão captada dos mananciais e possibilitam a substituição de fontes, ou seja, preservam a água potável para ser utilizada para os fins nos quais ela é realmente necessária.

O aproveitamento de águas pluviais consiste em captar a água da chuva através de uma superfície de coleta, sendo armazenada em reservatórios para posteriormente ser distribuída. O tratamento ou não das águas pluviais depende da utilização da mesma. O presente trabalho considera apenas o aproveitamento das águas pluviais para fins não potáveis como, por exemplo, o abastecimento das caixas das bacias sanitárias, a rega de jardins e a lavagem de carros, que não exigem um tratamento complexo. De acordo com Dornelles (2012, p. 2), além do benefício da redução do volume de água captado dos mananciais, o aproveitamento da água da chuva contribui para a redução dos alagamentos, pois a água é armazenada em reservatório para posterior consumo, ao invés de ser encaminhada à rede pluvial.

O item do sistema de aproveitamento das águas pluviais que apresenta maior custo e que necessita de maiores cuidados ao ser dimensionado é o reservatório. Cohim et al. (2008) apresentam alguns métodos para este dimensionamento. Estes métodos devem ser

devidamente analisados antes de sua aplicação, pois alguns deles têm como finalidade o abastecimento da demanda de água, e, para isso o reservatório deve estar sempre cheio. Já para os métodos que têm como objetivo principal o combate às enchentes, o reservatório deveria estar sempre vazio. Diante disso, o projeto deve ser analisado de forma a identificar os objetivos principal e secundário do sistema para que o mesmo possa atender às duas finalidades de acordo com a prioridade determinada.

No presente trabalho, foi realizada uma análise dos métodos de dimensionamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais e apresentado como resultado uma metodologia para dimensionamento dos reservatórios que atenda todos esses objetivos. Essa metodologia foi aplicada em três residências, uma de padrão alto, uma de padrão normal e uma de padrão baixo visando a verificação do consumo de água potável que pode ser reduzido em cada situação.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: qual é a falha associada ao volume ideal do reservatório de águas pluviais a ser implantado em três residências unifamiliares, de diferentes padrões, em Porto Alegre?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação da falha associada ao volume ideal do reservatório de águas pluviais a ser implantado em três habitações unifamiliares, de padrão alto, normal e baixo.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são:

- a) análise estatística dos dados de pluviometria mensal e anual da cidade de Porto Alegre – RS;
- b) aplicação dos métodos de dimensionamento do reservatório do sistema de aproveitamento de águas pluviais nas três residências selecionadas para padrão alto, normal e baixo e escolha do método mais adequado para o estudo;

- c) elaboração de uma metodologia para dimensionamento do reservatório do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que a falha associada ao volume ideal do reservatório de águas pluviais é cerca de 15%, independente do padrão ser alto, normal ou baixo.

2.4 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que:

- a) é possível utilizar as águas pluviais para abastecimento residencial não potável desde que realizados os tratamentos adequados;
- b) a NBR 5626/1998 é adequada como indicativo de consumos médios e pode ser utilizada;
- c) o Decreto n. 9369/88, do Departamento Municipal de Água de Porto Alegre pode ser utilizado para determinação da quantidade de moradores em residências;
- d) os dados coletados da Agência Nacional de Águas e consistidos pela mesma, podem ser considerados corretos;
- e) a NBR 12721/2005 é adequada para a classificação das residências unifamiliares em padrão alto, normal e baixo.

2.5 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que, diante da poluição dos mananciais, mesmo em regiões que não sofrem com carência de água, é necessária a adoção de medidas de redução do consumo de água potável, já que a mesma deve ser preservada para os fins mais nobres. O aproveitamento de águas pluviais pode amenizar a escassez da água bem como a poluição dos mananciais.

2.6 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à utilização de águas provenientes do aproveitamento de águas pluviais para uso residencial não potável.

2.7 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

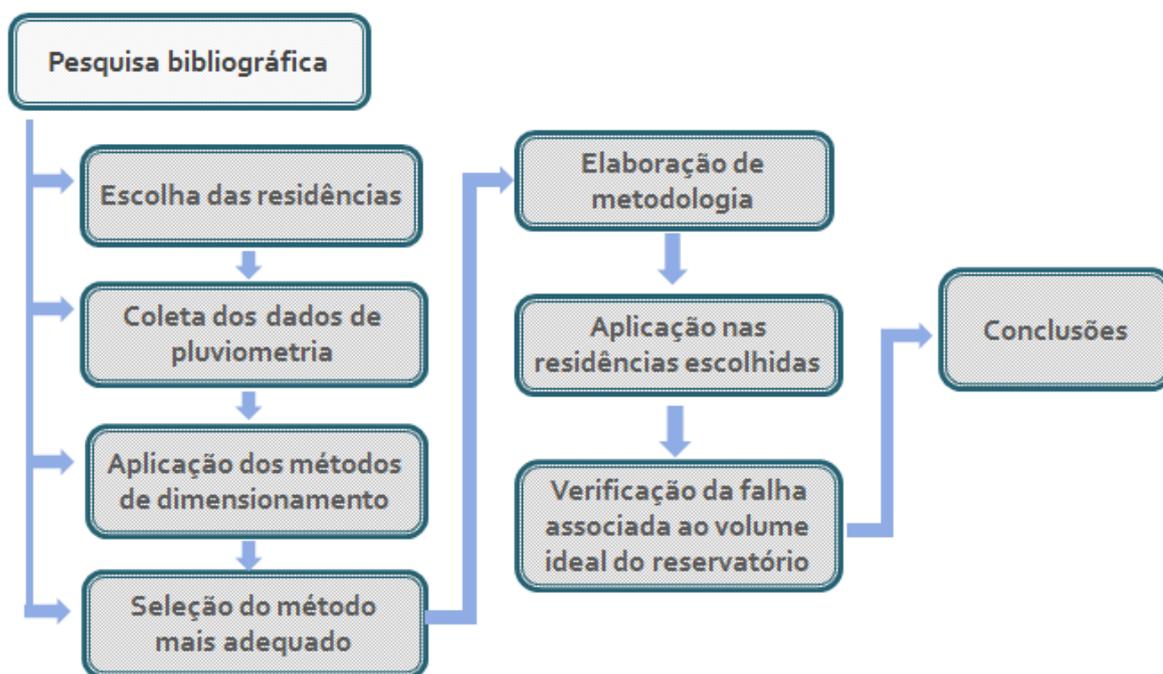
- a) o espaço geográfico abrange a cidade de Porto Alegre e, para estudo hidrológico, foram utilizados dados de pluviometria de 52 anos consecutivos;
- b) foram estudadas três residências, de padrão alto, normal e baixo;
- c) os métodos de dimensionamento do reservatório de águas pluviais se restringem aos presentes na NBR 15527:2007 mais o método do maior período de escassez.

2.8 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) análise e seleção dos métodos de dimensionamento dos sistemas de aproveitamento e reúso de água;
- c) coleta de dados e definição das condições pluviométricas de Porto Alegre;
- d) elaboração de metodologia para determinação do volume dos reservatórios;
- e) aplicação nas três residências de, padrão alto, normal e baixo, selecionadas;
- f) considerações finais.

Figura 1 – Etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pela autora)

A primeira etapa consiste na pesquisa bibliográfica na qual foi realizado o embasamento teórico. Através do material técnico disponível, foram coletadas informações sobre o funcionamento e dimensionamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais visando posterior uso residencial não potável. Através da pesquisa bibliográfica também foram definidos alguns parâmetros utilizados para a classificação de uma residência como de padrão alto, médio e baixo, bem como os consumos médios de água que devem ser considerados para a mesma, de acordo com a NBR5625/1998. Foram definidos também o consumo *per capita* e a população residente, de acordo com o Decreto n. 9369/88, do Departamento Municipal de Água e Esgotos.

Na etapa seguinte foi realizada a escolha das residências de padrão alto, normal e baixo. Para a seleção, foram consideradas as características dos projetos-padrão da NBR12721/2006 para classificação das residências em padrão alto, normal e baixo.

Na terceira etapa, coleta de dados e definição das condições pluviométricas de Porto Alegre, foram coletados dados de pluviometria diária e mensal da cidade, através da Agência Nacional de Águas (ANA). Então, a partir de estudos de probabilidade, foi possível definir os anos seco, médio e úmido para a região.

A quarta etapa é a aplicação dos métodos de dimensionamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais nas três residências escolhidas. Essa etapa consiste no estudo dos métodos de dimensionamento do sistema, identificados durante a pesquisa bibliográfica, e, na etapa seguinte, foi feita a escolha do mais adequado para aplicação em residências unifamiliares localizadas na cidade de Porto Alegre no Rio Grande do Sul, para os fins definidos nesse estudo.

A partir das duas etapas anteriores, foi elaborada uma metodologia para dimensionamento do reservatório do sistema de águas pluviais. Essa metodologia pode ser aplicada em qualquer residência cujas características (área do telhado, número de moradores e de carros e área do jardim e da piscina, se houver) sejam conhecidas.

A partir dos consumos médios e teóricos de água considerados para as residências, foi calculado, para cada uma, o volume médio anual de água utilizado sem os sistemas de aproveitamento e reúso de água. Foi calculado, também, o volume de água potável que é utilizada pelas mesmas e que pode ser substituída por uma água de qualidade inferior, que neste caso, seria proveniente do aproveitamento da água da chuva.

A partir do consumo de água calculado para as residências, do estudo da pluviometria da cidade e da metodologia elaborada para determinação dos reservatórios, foi possível dimensionar o reservatório do sistema de aproveitamento de água para as residências escolhidas e verificar as falhas associadas.

3 ESCASSEZ DA ÁGUA

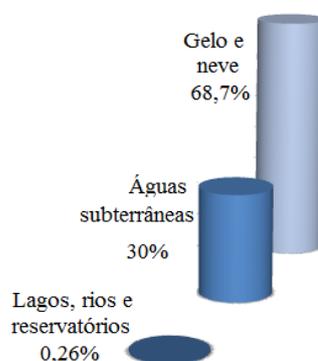
Com o crescente desenvolvimento das cidades, os mananciais utilizados para abastecimento de água têm se tornado insuficientes e com problemas de qualidade de água. Essa situação decorre, principalmente, da má distribuição dos recursos hídricos e da falta de tratamento da grande quantidade de poluentes lançada diariamente nos mananciais.

Esse capítulo tem como objetivo apresentar uma descrição da situação atual da distribuição e qualidade da água no Brasil e na Terra.

3.1 SITUAÇÃO DA ÁGUA NA TERRA

Segundo Sperancetta et al. (2004, p. 31), o volume de água superficial e subterrânea existente na Terra é de 1.385.984.610 km³ e 23.400.000 km³ respectivamente. Os oceanos compreendem 97% do montante de água existente e, portanto, restam apenas 2,5% de água doce, que permanece em ciclo de chuva, neve, evaporação e gelo. Grande parte da água doce (68,7%) permanece como gelo e neve, 30% está na forma de águas subterrâneas e apenas uma pequena parte (0,26%) corresponde a lagos rios e reservatórios, que representam as formas mais fáceis e acessíveis economicamente para captação. A figura 2 representa a situação da distribuição da água doce na Terra.

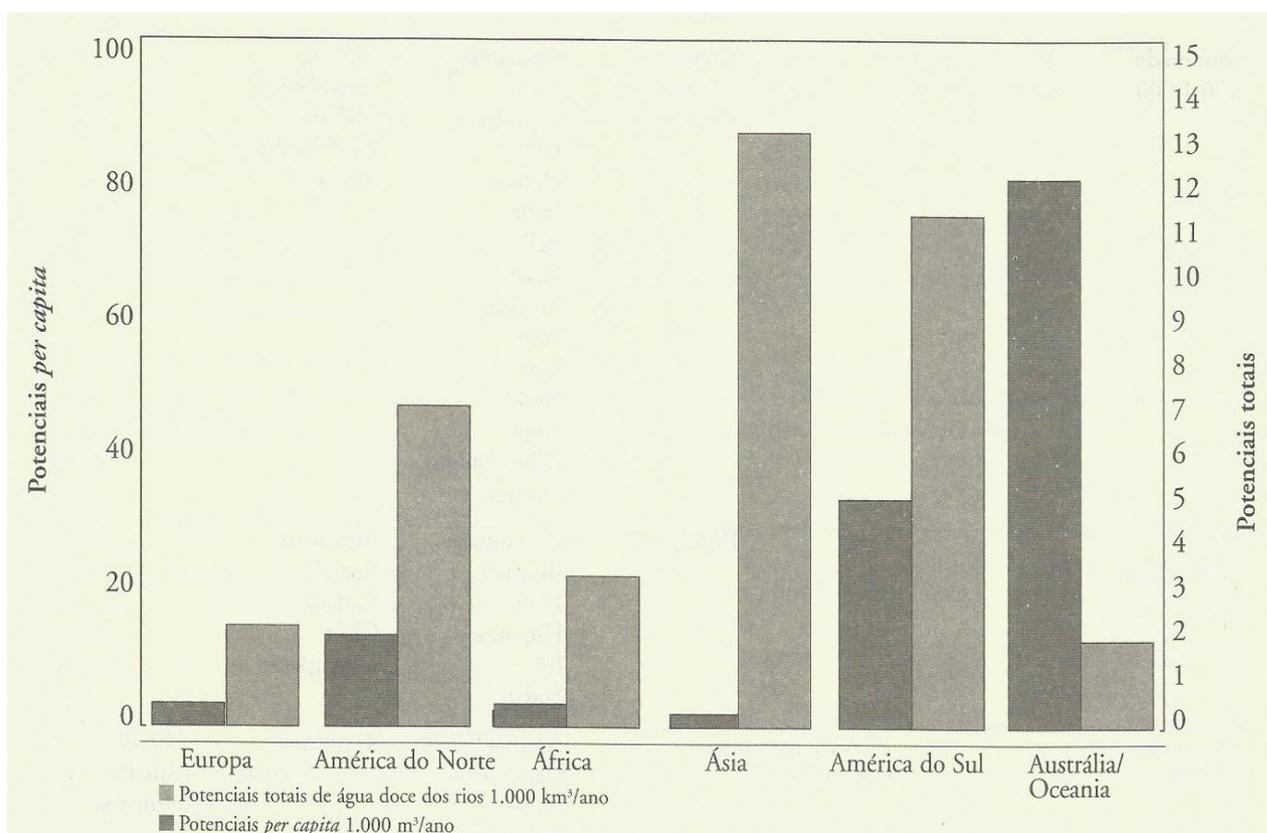
Figura 2 – Distribuição da água doce na Terra



(fonte: adaptado de SPERANCETTA et al., 2004, p. 31)

De acordo com Costa (2010a, p. 3), uma das causas da escassez da água no Planeta é o potencial *per capita*. A autora salienta que: “A grande problemática da escassez da água mundial está relacionada com a má distribuição de recursos naturais no espaço em relação à concentração populacional [...]”. Rebouças (2006, p. 16) mostra (figura 3) o potencial de descargas de água nos rios por continente e o correspondente *per capita*. O autor observa que, em alguns continentes, existem grandes descargas de água nos rios, porém estas se tornam insuficientes devido a sua numerosa população. A Ásia, que possui o maior potencial de descargas de água nos rios, é um exemplo dessa situação. Já a Austrália, que possui a menor descarga de água em seus rios, é o continente com maior disponibilidade de água por habitante.

Figura 3 – Potenciais de água doce dos continentes e influência da população



(fonte: NAÇÕES UNIDAS¹, 1997 apud REBOUÇAS, 2006, p. 16)

Rebouças (2006, p. 19) define como estado de estresse da água uma disponibilidade de água inferior a 1000m³/hab/ano e como escassez da água, disponibilidade inferior a 500m³/hab/ano.

¹ O autor não fornece a referência bibliográfica.

O autor afirma que, no ano de 1990, a situação de estresse da água já atingia 18 países do mundo e salienta que no ano de 2025 essa situação atingirá 30 países. O autor ainda indica que os problemas referentes ao abastecimento de água de muitos países que dependem de recursos hídricos externos a seu território, poderiam ser reduzidos através de um melhor gerenciamento dos recursos internos.

3.2 SITUAÇÃO DA ÁGUA NO BRASIL

Rebouças (2006) indica que o Brasil, apesar de receber destaque mundial pela grande quantidade de água doce descarregada em seus rios, sofre com a escassez de água. O País representa 12% da água doce mundial e 53% da água produzida pela América do Sul. De acordo com o autor, os problemas do abastecimento de água no Brasil ocorrem, principalmente, devido à má distribuição da população, que cresce e se concentra em regiões que não apresentam grande disponibilidade hídrica, aumentando assim a demanda localizada de água e causam, em níveis altíssimos, a degradação da qualidade da água. Costa, (2010a, p. 10), apresenta a porcentagem de descarga de água nos rios e a população em hab/km² em cada região hidrográfica do País (tabela 1).

Tabela 1 – Densidade de população dominante

Região	Habitantes por km ²	Descarga dos rios (% do total)
Amazonas	< de 2,00 a 5,00	72
Tocantins	2,00 a 5,00	6
Atlântico Norte-Nordeste	5,01 a 25,00 e 25,01 a 100,00	2,3
São Francisco	<de 2,00 a 5,00 e 5,01 a 25,00	1,7
Atlântico Leste	5,01 a 25 e 25,01 a 100,00	1
Paraná	25,01 a 100,00 e > de 100,00	6,5
Uruguai	5,01 a 25,00 e 25,01 a 100,00	2,2
Atlântico Sudeste	25,01 a 100,00 e > de 100,00	2,5

(fonte: adaptado de INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA², 1996 apud COSTA, 2010a, p. 10)

² INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Centro de Documentação Disseminação de Informações:** o Brasil em números. Rio de Janeiro, 1996.

Além do crescimento populacional em locais com disponibilidade hídrica limitada, a urbanização e desenvolvimento desordenado das grandes cidades colaboram com a degradação dos mananciais disponíveis para abastecimento de água. Segundo Costa (2010a, p. 10):

A ineficiente coleta e tratamento da água residual com o conseqüente lançamento de esgotos não tratados nos corpos de água, a inapropriada destinação dos resíduos sólidos, o desperdício, o falho sistema de drenagem, a grande poluição atmosférica, a falta de conscientização ambiental da população, empresários e governantes, enfim, os grandes impactos ambientais causados pela imprudência da sociedade refletem-se na degradação dos recursos hídricos.

Para que não aconteça a situação de escassez da água prevista para o futuro por Rebouças (2006), são necessárias medidas que permitam a preservação dos mananciais utilizados para abastecimento. De acordo com Costa (2010b, p. 154-155):

É necessário:

- a) que os poderes públicos federal e estaduais realizem os investimentos necessários para um eficiente gerenciamento, controle e fiscalização das condições de uso e proteção;
- b) que as empresas de saneamento básico forneçam, com eficiência, a água de qualidade garantida, coletando e tratando esgoto, recolhendo e dispendo de forma adequada o lixo doméstico, e atuando de forma harmônica com os setores responsáveis pelo ordenamento e controle das condições de uso e ocupação do território, tanto urbano como rural;
- c) que a sociedade, por sua vez, reveja sua atitude de descaso em relação ao abuso e desperdício, como se a água fosse um recurso ilimitado e de propriedade particular e individual.

Dentre as opções de racionalização dos recursos hídricos, o reúso da água, o aproveitamento das águas pluviais e o uso de dispositivos poupadores de água de água são alternativas que podem apresentar bons resultados.

4 MEDIDAS DE COMBATE À ESCASSEZ DA ÁGUA

De acordo com Jabur et al. (2011, p. 4), devido à poluição urbana e rural que chega aos mananciais, a água de qualidade tem se tornado escassa. Sendo assim, a racionalização de água potável, bem como a preservação dos recursos hídricos através de fontes alternativas são medidas imprescindíveis a todo o planeta. Como opções para a redução do consumo de água potável podem ser utilizados equipamentos com baixo consumo de água, sistemas de aproveitamento de águas pluviais e de reúso de águas bem como a mudança de hábito da população.

4.1 REÚSO DE ÁGUA

Fiori et al. (2006, p. 20) definem como reúso de água:

Reúso da água é a reutilização da água, que, após sofrer tratamento adequado, destina-se a diferentes propósitos, com o objetivo de se preservarem os recursos hídricos existentes e garantir a sustentabilidade. É a utilização dessa substância, por duas ou mais vezes, após tratamento, para minimizar os impactos causados pelo lançamento de efluentes sem tratamento nos rios [...]

Segundo Fiori et al. (2006, p. 21), o reúso da água possibilita a substituição de fontes, nas situações nas quais uma água com qualidade inferior é utilizada para fins não nobres e, assim, a utilização da água potável é preservada para os fins que realmente necessitam de potabilidade. Além disso, o reúso diminui a quantidade de água captada dos mananciais e reduz a descarga de efluentes nas águas superficiais.

O reúso da água pode ser classificado em indireto planejado, indireto não planejado, direto e reciclagem de água. Quanto à qualidade necessária ao destino final da água proveniente de reúso, esse pode ser classificado, ainda, como potável e não potável.

4.1.1 Reúso indireto da água

A Organização Mundial da Saúde³ (1973 apud BREGA FILHO; MANCUSO, 2003, p. 23) define como reúso indireto a utilização da água coletada em um ponto a jusante de águas superficiais ou subterrâneas onde foi despejada água já usada uma ou mais vezes para fins domésticos ou industriais.

4.1.2 Reúso direto da água

Para a Organização Mundial da Saúde⁴ (1973 apud BREGA FILHO; MANCUSO, 2003, p. 23), o reúso direto da água ocorre quando o esgoto é tratado para atender a determinados objetivos, que podem ser: uso industrial, irrigação, recarga de aquíferos e água potável.

4.1.4 Reúso potável

O reúso potável da água consiste em reusar a água já utilizada para fins potáveis. Pode ser classificado como reúso potável direto e indireto.

Para Hespanhol (2002), o reúso potável está associado a riscos muito altos e isso o torna, para fins urbanos, quase inaceitável. O autor ainda ressalta os altos custos envolvidos nos tratamentos avançados, que, muitas vezes, inviabilizam economicamente o reúso potável. Ainda assim, o autor propõe que o mesmo pode ser feito desde que seja garantida a operação adequada dos sistemas de tratamento, distribuição e vigilância sanitária.

4.1.5 Reúso não potável

Esse tipo de reúso ocorre quando a água já utilizada é tratada e, possuindo qualidade inferior, é utilizada para fins que não necessitam da alta qualidade da água potável.

³ O autor não fornece a referência bibliográfica.

⁴ O autor não fornece referências bibliográficas.

Para Hespanhol (2002, p. 78), o reúso não potável para fins urbanos deve ser a primeira opção já que apresenta menores riscos. Ainda assim, deve-se ter bastante cuidado ao reutilizar a água para atividades nas quais possa existir o contato direto com pessoas.

Oliveira et al. (2007, p. 10) definem como águas cinzas, as águas que podem ser utilizadas para reúso não potável para fins domésticos. Essas águas podem ser provenientes de chuveiros, lavatórios, tanques, máquinas de lavar roupas e de banheiras.

As partes constituintes do sistema de reúso de águas cinzas, segundo os autores, são: coleta de esgoto sanitário, tratamento da água, reservação e sistema de distribuição.

4.2 APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Para Dornelles (2012, p. 5), “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.”. Ainda, segundo o autor, o aproveitamento de águas pluviais é uma fonte de abastecimento de água alternativa e eficiente e, por esse motivo, tem relação com a sustentabilidade.

May (2004, p. [17]) salienta que “O manejo e o aproveitamento da água de chuva para uso doméstico, industrial e agrícola está ganhando ênfase em várias partes do mundo, sendo considerado um meio simples e eficaz para se atenuar o grave problema ambiental da crescente escassez de água para consumo.”.

O aproveitamento da água da chuva pode ter muitos benefícios, entre eles os econômicos, ambientais e à drenagem pluvial. Os benefícios econômicos, que ocorrem devido à economia de água tarifada, são os mais notáveis e, por ser de fácil mensuração, também são os mais estudados (DORNELLES, 2012, p. 8).

May (2004) ressalta a economia de água potável para usos menos nobres, como lavagem de veículos, reserva de água para combate a incêndios, lavagem de roupas e recarga de bacias sanitárias, que é gerada pelo aproveitamento da água da chuva. Segundo Tomaz (2005, p. 18), com o aproveitamento da água da chuva através de superfícies impermeabilizadas, obtém-se uma economia de aproximadamente trinta por cento da água pública.

Os benefícios ambientais, de acordo com Dornelles (2012), vão além da prática do aproveitamento da água da chuva para regiões que sofrem com carência de água ou com baixo potencial *per capita*. A água deve ser usada com racionalidade e, quando possível, extraída de fontes alternativas, já que é um recurso nobre. Além disso, a gestão das águas pluviais tem como um de seus objetivos a compensação da impermeabilização do solo causada pela urbanização sem planejamento, como cita Jabur et al. (2011, p. 3).

Dornelles (2012, p. 13) cita alguns dos benefícios ambientais:

- 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.

Segundo Dornelles (2012, p. 13) o aproveitamento da água traz, como benefício para a drenagem urbana, a diminuição dos volumes de água e dos picos de vazão na rede pública. Porém Tucci⁵ (2007 apud DORNELLES, 2012, p. 13) salienta que quando a água da chuva é utilizada para abastecimento de água não potável, sua contribuição à drenagem urbana é pequena.

Dornelles (2012, p. 34) ainda indica que o uso não potável da água pluvial é o recomendado. Segundo o autor, para atender os padrões de potabilidade, o sistema levaria a custos altíssimos e poderia se tornar inviável economicamente.

Quando instalado nos sistemas hidráulicos prediais, o sistema de aproveitamento da água da chuva tem como objetivo a redução do consumo de água potável. Existem técnicas simples e eficientes para instalação desse sistema e, em ambientes com boa distribuição de chuvas durante o ano, o sistema de aproveitamento da água da chuva é amplamente viável. Já, em regiões com longos períodos secos, o sistema torna-se muito oneroso devido às grandes dimensões que o mesmo deve possuir. Nesses casos, é indicada a utilização de outras medidas

⁵ TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2007.

em conjunto com o aproveitamento de águas pluviais, assim como o reúso de efluentes domésticos (FEWKES⁶, 1999 apud OLIVEIRA et al., 2007 p. 20).

4.3 DISPOSITIVOS POUPADORES DE ÁGUA

Segundo Hafner (2007, p. 49), “Dispositivos economizadores de água são equipamentos e acessórios hidro-sanitários que apresentam, na utilização, uma maior eficiência hídrica quando comparados aos equipamentos convencionais.”. De acordo com a autora, esses dispositivos tem a vantagem de poupar água independente da colaboração do usuário e, por isso, são altamente indicados para instalações sanitárias públicas.

Alguns equipamentos onde podem ser utilizados os dispositivos poupadores de água são torneiras, bacias sanitárias e chuveiros.

4.3.1 Torneiras

De acordo com Lombardi (2012, p. 33), o consumo das torneiras está ligado à vazão e ao tempo de utilização do aparelho. Para reduzir o alto consumo de água que esses equipamentos podem apresentar, pode-se utilizar os seguintes dispositivos:

- a) arejador;
- b) pulverizador;
- c) fechamento automático;
- d) acionamento fotoelétrico.

4.3.1.1 Arejadores

Segundo Hafner (2007, p. 49):

O arejador é um pequeno acessório instalado na saída da água da torneira e tem a função de misturar ar com a água, proporcionando economia de água e conforto na utilização. O equipamento direciona o fluxo de água, evitando a dispersão do jato e diminuindo os espirros e respingos de água.

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

De acordo com Lombardi (2012, p. 33), a redução de água alcançada pelos arejadores pode chegar a 50% da água utilizada nas torneiras sem esse dispositivo. Hafner (2007, p. 49) ainda salienta que arejadores são dispositivos simples, eficientes e com custo de aquisição muito baixo.

4.3.1.2 Pulverizadores

Hafner (2007, p. 53) define pulverizador como um acessório que divide o jato de água em outros pequenos jatos. Esse dispositivo é instalado na saída de água da torneira, bem como o arejador, apresentado no item anterior. Lombardi (2012, p. 33) destaca que os pulverizadores podem reduzir o consumo da água em até 70%.

4.3.1.3 Fechamento automático e acionamento fotoelétrico

Segundo Hafner (2007, p. 54), a torneira de pressão é manualmente acionada, liberando o fluxo de água e a de sensor (eletrônica) é acionada com a aproximação das mãos. Ambos dispositivos limitam o tempo de utilização para economia de água. A esses dois tipos de torneiras pode-se combinar o uso de outros dispositivos como arejadores, nesses casos, com as torneiras de pressão pode ser alcançada uma economia no consumo entre 20% e 50% e com as torneiras com sensor essa economia fica entre 40% e 70%.

4.3.2 Bacias sanitárias

As bacias mais utilizadas no Brasil têm seu acionamento por gravidade. Nesse grupo existem vários dispositivos de acionamento, entre eles a válvula de descarga e a caixa de descarga convencional ou acoplada (GONÇALVES⁷ 2006, p. 269 apud LOMBARDI, 2012, p. 36). Esses dispositivos têm um alto consumo de água e, para um consumo mais baixo podem ser utilizadas, entre outros, bacias sanitárias com volume de descarga reduzido e válvulas de descarga com duplo acionamento.

⁷ GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

4.3.2.1 Bacia sanitária de volume de descarga reduzido

De acordo com Hafner (2007, p. 55): “As bacias sanitárias projetadas a partir de 2003, no Brasil, consomem, no máximo, 6,8 litros de água por descarga em comparação aos 12 ou até 20 litros consumidos por bacias mais antigas [...]”. Segundo a autora, com a substituição de uma bacia sanitária convencional por um com volume de descarga reduzido, a economia de água chega a 50%.

4.3.2.2 Válvula de descarga com duplo acionamento

Segundo Lombardi (2012, p. 36), esses dispositivos proporcionam uma descarga com três litros de água para eliminação de efluentes líquidos e seis litros para descartar efluentes sólidos. Hafner (2007, p. 57) salienta que a economia média de água fica entre 50% e 75% quando comparado com a descarga convencional.

4.3.3 Chuveiros

Como os usuários têm sensibilidade quanto à alteração de vazão dos chuveiros, esses são os equipamentos com maior dificuldade para redução do consumo de água. Os chuveiros elétricos, apesar de consumirem bastante energia são uma boa opção para economia de água. Outros dispositivos que podem ser utilizados em chuveiros são os restritores de vazão. Esses podem ser instalados em qualquer chuveiro e têm a economia associada à pressão da água no local (HAFNER, 2007).

5 SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS – USO RESIDENCIAL NÃO POTÁVEL

Para Sperancetta et al. (2004, p. 32), o sistema de captação e aproveitamento das águas de chuva, além do benefício econômico, colabora no combate à escassez de água e na redução das enchentes urbanas. Esses benefícios são possibilitados devido ao armazenamento e posterior consumo da água da chuva, que seria transformada em escoamento superficial e encaminhada para encanamentos pluviais.

De acordo com Sperancetta et al. (2004, p. 32):

As técnicas necessárias para operar um sistema de utilização das águas pluviais devem seguir as seguintes etapas:

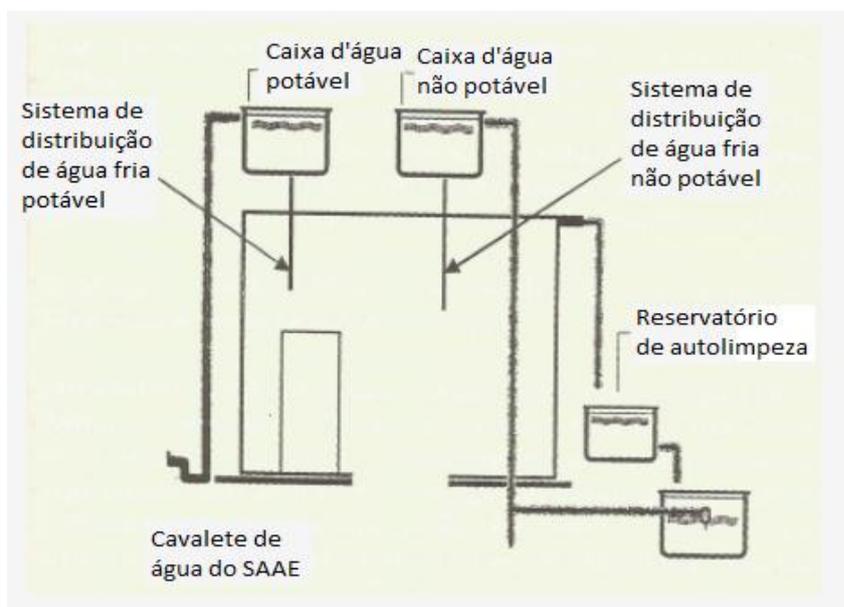
- a) coleta das águas pluviais através de telhados, coberturas, marquises, etc;
- b) armazenamento das águas pluviais em reservatórios;
- c) verificação da qualidade das águas pluviais;
- d) abastecimento local pelo uso das águas pluviais;
- e) drenagem do excesso das águas pluviais provocados pelas chuvas intensas;
- f) águas pluviais complementares às do abastecimento público das cidades, em épocas de estiagem (emergências);
- g) eliminação da água coletada no início das chuvas.

Cohim et al. (2008, p. 5) definem que o sistema de captação e utilização de água pluvial é composto pelos seguintes componentes: superfície de captação, calhas e tubulações, tratamentos, bombas e sistemas pressurizados e reservatórios. Esses componentes são detalhados nos próximos itens.

A figura 4 apresenta um esquema do sistema de aproveitamento de águas pluviais para uso residencial não potável. Nota-se que a distribuição da água é feita através de um sistema dual, onde um destina-se a distribuir a água potável e o outro distribui a água proveniente de aproveitamento da água da chuva. É importante salientar que o sistema não pode, de modo

algum, permitir contato da água de aproveitamento com a água potável (TOMAZ, 2005, p. 23).

Figura 4 – Sistema dual de água fria: água potável e não potável



(TOMAZ, 2005, p. 23)

5.1 SUPERFÍCIE DE CAPTAÇÃO

Segundo Cohim et al. (2008, p. 5), a superfície mais utilizada para captação de águas pluviais é o telhado, porém, também podem ser utilizados para este fim pátios e outras áreas impermeáveis. O tamanho e o material da superfície de captação exercem influência na eficiência do sistema. Os autores ressaltam: “O tamanho desta está diretamente relacionado ao potencial de água de chuva possível de ser aproveitada, enquanto isso, o material da qual é formada influenciará na qualidade da água captada e nas perdas por evaporação e absorção.”.

Para Oliveira et al. (2007, p. 21), os pisos impermeáveis geralmente não são utilizados como superfície de captação por conduzirem maior quantidade de poluição para o sistema de aproveitamento de águas pluviais.

Segundo Tomaz (2005, p. 79):

Para efeito de cálculo, o volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado. Para isto, usa-se um coeficiente de escoamento superficial

chamado de coeficiente de *runoff*, que é o quociente entre a água que escoou superficialmente pelo total da água precipitada. Usa-se a letra C para o coeficiente de *runoff*.

A tabela 2 apresenta alguns valores para o coeficiente de *runoff*.

Tabela 2 – Valores para coeficiente de escoamento superficial

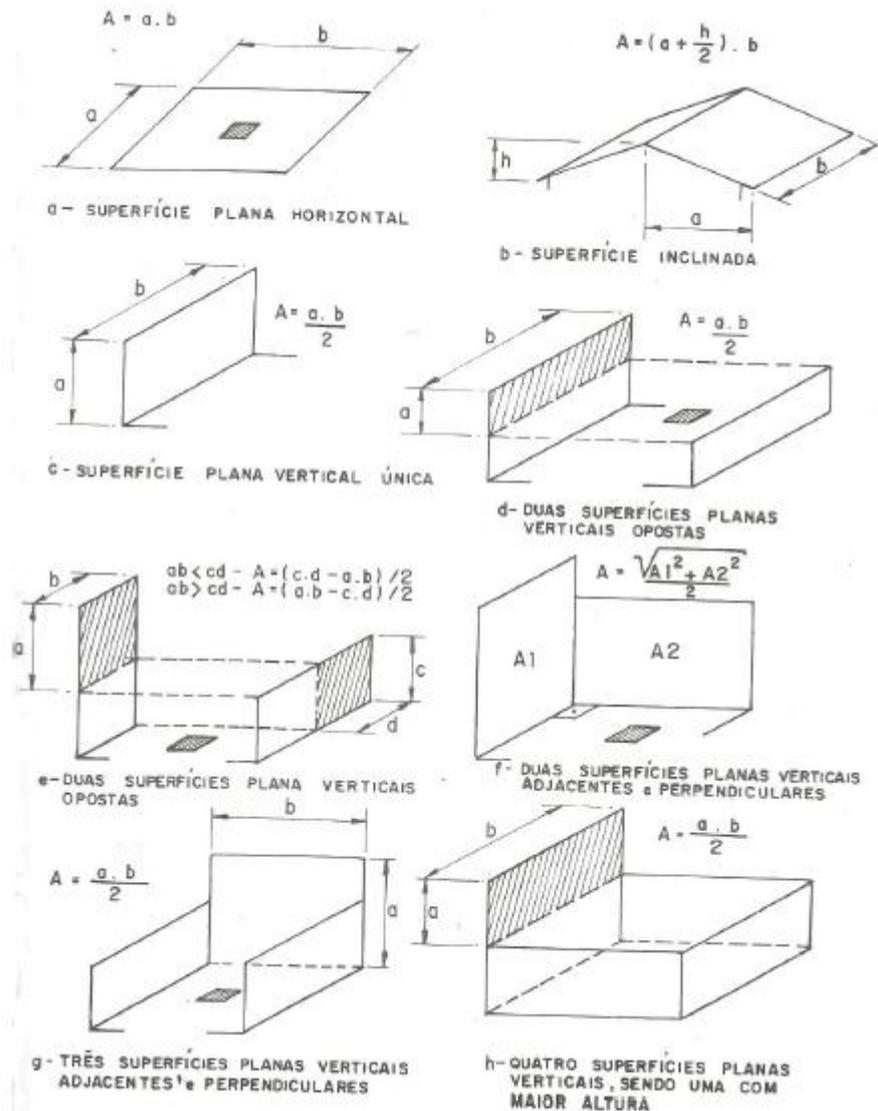
Superfície	Coefficiente C
Telhados	0,70 a 0,95
Pavimentos	0,40 a 0,90
Via macadamizada	0,4 a 0,9
Vias e passeios apedregulhados	0,15 a 0,30
Quintais e lotes vazios	0,10 a 0,30
Parques, jardins, gramados dependendo da declividade	0,00 a 0,25

(fonte: WILKEN⁸, 1978 apud TOMAZ, 2005, p. 79)

Para o cálculo da área da superfície de captação, a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989) salienta que os incrementos devidos às paredes que podem interceptar a água da chuva e à inclinação da cobertura devem ser considerados. A figura 5 apresenta o cálculo que deve ser realizado para cada tipo de superfície.

⁸ WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978.

Figura 5 – Superfícies de captação



(fonte: BOTELHO; RIBEIRO JUNIOR, 1998, p. 127)

5.2 CALHAS E TUBULAÇÕES

Esses elementos, que podem ser encontrados em vários materiais, tem como função o transporte das águas pluviais captadas. O PVC, alumínio e aço galvanizado são os materiais mais utilizados para a fabricação dos mesmos. O autor também salienta que deve existir uma identificação (cor diferente) nas tubulações pertencentes ao sistema de aproveitamento de águas pluviais. Essa identificação é feita para evitar qualquer contato da água proveniente de aproveitamento com a água potável (COHIM et al., 2008, p. 5).

5.3 TRATAMENTOS

May (2004, p. [41]), afirma que:

[...] o sistema de tratamento da água de chuva depende da qualidade da água coletada e do seu destino final. Para um tratamento simples, pode ser utilizado: sedimentação natural, filtração simples e cloração. Pode-se utilizar também tratamentos complexos como desinfecção por ultravioleta ou osmose reversa.

Para Fendrich (2009, p. 113), influenciam na qualidade das águas pluviais coletadas: o grau de poluição do ar, a limpeza da área de coleta e o meio à sua volta. Diante disso, os tratamentos realizados devem ser adequados a cada caso. O autor cita um exemplo em que a água pluvial é coletada em uma residência cercada por árvores e, nesse caso, seria indispensável o uso de grelha ou tela para afastar as folhas do condutor vertical. O autor também considera que os métodos de tratamento devem variar de acordo com a destinação das águas coletadas e apresenta, na tabela 3, utilizações das águas pluviais e tratamentos necessários para cada uma.

Tabela 3 – Tratamento da água pluvial de acordo com sua destinação

Região	Tratamento
Regar plantas	Não é necessário tratamento
Aspersores de irrigação Combate a Incêndios Ar condicionado	Tratamento é necessário para manter o armazenamento e o equipamento em boas condições
Lago/ fonte Descarga no vaso sanitário Lavar roupas/ lavar carros	Tratamento higiênico é necessário devido ao possível contato humano com a água
Piscina/ banho Beber/ cozinhar	A desinfecção é necessária porque a água é ingerida direta ou indiretamente

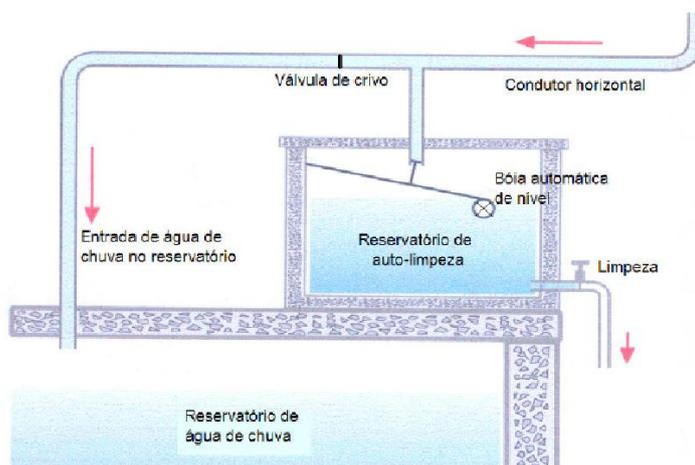
(fonte: FENDRICH, 2009, p. 113)

Cohim et al. (2008, p. 5) salientam que os primeiros milímetros de chuva devem ser descartados, dado que nesse volume inicial, existe uma maior concentração de impurezas que se encontravam sobre a superfície de captação.

5.3.1 Reservatório de auto-limpeza com torneira boia

A figura 6 representa um esquema de um dispositivo de descarte da primeira água da chuva. Segundo May (2004, p. [50]), quando a chuva inicia, a água é lançada, pelo condutor horizontal, diretamente no reservatório de autolimpeza. Esse reservatório recebe a água da chuva até que o nível desta atinja uma posição limite. Assim que essa posição é alcançada, o reservatório de autolimpeza é automaticamente fechado pela torneira boia e a água da chuva passa a ser conduzida ao reservatório de águas pluviais. No reservatório de auto-limpeza, existe um registro que deve ser aberto assim que cessada a chuva, a fim de esvaziar o mesmo.

Figura 6 – Reservatório de auto-limpeza com torneira boia



(fonte: DACACH⁹, 1990 apud MAY, 2004)

Quanto à capacidade do reservatório de auto-limpeza, deve ser determinado o volume de água que deve ser armazenado ou um volume por metro quadrado de telhado, já que a auto-limpeza tem como objetivo eliminar a água de lavagem do mesmo e a sua quantidade varia com o tamanho do telhado. Segundo Tomaz (2005, p. 95), utiliza-se 0,4 litros de água por metro quadrado de telhado (L/m²). O mesmo autor adota, para a cidade de Guarulhos em São Paulo, 1,0 L/m², que corresponde a 1milímetro de chuva, por metro quadrado de telhado. De acordo com Dacach¹⁰ (1990 apud TOMAZ, 2005, p. 95): “O reservatório de auto-limpeza deve ter capacidade para armazenar 0,8 a 1,5 L/m² de telhado.”.

⁹ DACACH, N. G. **Saneamento básico**. 3 ed. Rio de Janeiro: Didática e Científica, 1990.

¹⁰ Idem.

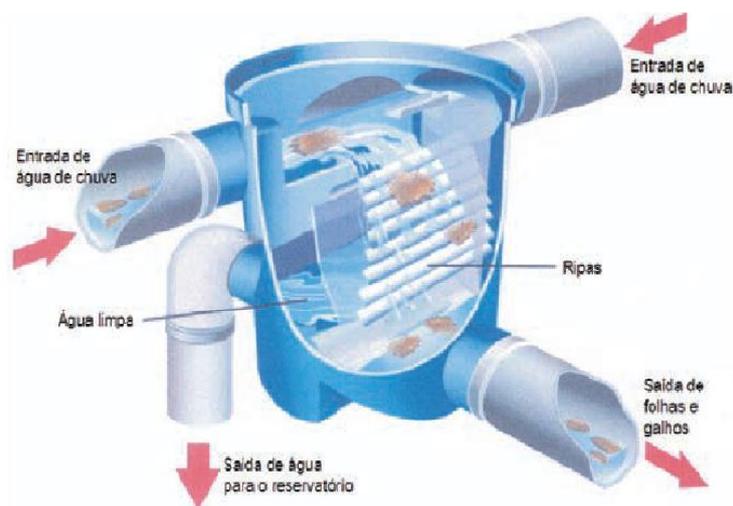
5.3.2 Filtro de areia

Segundo Garcez e Alvares¹¹ (1988 apud MAY, 2004), o filtro consiste em uma camada de areia e outra de pedregulho, localizadas entre a entrada e saída de água, assim, a água é forçada a passar por essas camadas antes de ser enviada a um poço de sucção e bombeada até o reservatório de águas pluviais. Segundo o autor, na coleta da água deve existir também um dispositivo de descarte de folhas e galhos.

5.3.3 Dispositivo de gradeamento

De acordo com Oliveira et al. (2007, p. 22), esse sistema tem como objetivo evitar a passagem de folhas, gravetos e outros materiais sólidos presentes na água coletada através da superfície de captação. Os autores ressaltam que, como o gradeamento visa evitar a deposição de sedimentos no reservatório, é importante que esses dispositivos sejam instalados a montante do reservatório de armazenamento das águas pluviais. A figura 7 ilustra um exemplo de um dispositivo de gradeamento.

Figura 7 – Dispositivo de gradeamento



(fonte: OLIVEIRA et al., 2007, p. 22)

¹¹ GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1988.

5.4 BOMBAS E SISTEMAS PRESSURIZADOS

De acordo com Cohim et al. (2008, p. 6), embora os projetos procurem localizar o reservatório principal em cotas superiores aos pontos de utilização, a fim de fazer a distribuição da água através da gravidade, existem casos nos quais o reservatório principal fica localizado em cotas inferiores aos pontos de utilização. Nesses casos, as bombas e sistemas pressurizados são indispensáveis para a distribuição de água.

5.5 RESERVATÓRIOS

Os reservatórios servem para armazenar a água captada antes de sua utilização. Cohim et al. (2008, p. 6) afirmam que os reservatórios “[...] podem ser enterrados, apoiados ou elevados. Diversos materiais podem ser utilizados na fabricação dos reservatórios, sendo, portanto, necessário avaliar em cada caso aspectos como: capacidade, estrutura necessária, viabilidade técnica, custo, disponibilidade local.”.

Sperancetta et al. (2004, p. 33) argumentam que os reservatórios não podem apresentar vazamentos e também não podem permitir a proliferação de algas. Os autores também ressaltam que, para a construção dos mesmos, devem ser utilizados materiais não poluentes. Além disso, deve ser instalada uma tampa que não permita a evaporação de água e a entrada de pequenos animais bem como de sujeira. Segundo os autores, essa tampa não pode causar dificuldades na limpeza.

No sistema de aproveitamento das águas pluviais, o reservatório representa o item de maior custo (aproximadamente 50% a 80% do custo de todo o sistema), por isso, o mesmo deve ser dimensionado de maneira criteriosa (COHIM et al., 2008, p. 6).

5.6 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

Segundo Dorneles (2012, p. 2), o sistema de aproveitamento de águas pluviais contribui tanto para a redução da demanda de água potável solicitada da rede de abastecimento quanto para o combate às enchentes urbanas. Isso ocorre porque parte da água que seria transformada em escoamento superficial é armazenada e reutilizada. Porém, Dorneles (2012, p. 2-3) ressalta:

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).

Existem diferentes métodos para dimensionamento do reservatório, alguns deles estão apresentados a seguir.

5.6.1 Método de Rippl

Cohim et al. (2008, p. 7) explicam que, no método de Rippl (equações 1, 2 e 3), o volume do reservatório é calculado através de um balanço de massa. Para a aplicação da equação, pode-se utilizar dados mensais ou diários de precipitação da região estudada. O autor recomenda a aplicação do método com dados diários, pois com os dados mensais, os resultados são reservatórios maiores:

$$Q(t) = P(t) \cdot A \cdot C \quad (\text{equação 1})$$

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (\text{equação 2})$$

$$V = \sum S(t) \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

$S(t)$ = volume de água no reservatório no tempo t (m^3);

$Q(t)$ = volume de chuva captada no tempo t (m^3);

$D(t)$ = demanda ou consumo no tempo t (m^3);

$P(t)$ = precipitação no tempo t (mm);

C = coeficiente de escoamento superficial;

A = área de captação (m^2);

V = volume do reservatório (m³).

5.6.2 Método do maior período de estiagem

Cohim et al. (2008, p. 7) apresentam o método do maior período de estiagem. Neste método o reservatório é dimensionado com base no máximo período de estiagem. Para a aplicação do método, verifica-se, através dos dados de precipitação observados para cada região, a maior sequência de dias sem chuvas. O volume do reservatório pode ser calculado através da equação 4:

$$V = N \cdot D \quad \text{(equação 4)}$$

Onde:

N = número de dias consecutivos sem chuvas;

D = demanda diária para chuva (m³);

V = volume do reservatório (m³).

O autor ressalta que dias com precipitação até 1mm são considerados dias sem chuva.

5.6.3 Método prático brasileiro

De acordo com Cohim et al. (2008, p. 7), o método prático brasileiro determina o volume do reservatório através do volume de chuva coletado e do período mensal sem chuvas. Esse método, que calcula o volume do reservatório através da equação 5.

$$V = 0,042 \cdot P \cdot A \cdot T \quad \text{(equação 5)}$$

Onde:

P = precipitação média anual, (mm);

T = número de meses de pouca chuva ou seca;

A = área de captação (m²);

V = volume do reservatório (L).

5.6.4 Método da simulação

Segundo Cohim et al. (2008, p. 8), o método da simulação consiste em um balanço hídrico a partir de volumes de reservatórios pré-determinados.

Para Tomaz (2005, p. 142), “O básico da **análise de simulação do reservatório** é que é um método por tentativas e erros. Supõe-se conhecido o **volume do reservatório**, bem como a **demanda**.”.

A NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) indica que a equação da continuidade (equação 6 e 1) é aplicada a um reservatório finito para um determinado mês e salienta que, neste método, a evaporação da água é desprezada (a equação 1 é a mesma utilizada para o método de Rippl).

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (\text{equação 6})$$

$$Q_{(t)} = P_{(t)} \cdot A \cdot C \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

$S_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo t (m^3);

$S_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório no tempo t-1 (m^3);

$Q_{(t)}$ = volume de chuva no tempo t (m^3);

$D_{(t)}$ = demanda no tempo t (m^3);

P = precipitação de chuva, (mm);

T = número de meses de pouca chuva ou seca;

A = área de captação (m^2);

C = coeficiente de *runoff* (mais comum =0,8).

De acordo com Tomaz (2005, p. 142):

Para a análise do método da simulação de um reservatório, hipóteses básicas devem ser feitas:

- a) o reservatório está cheio no início da contagem do tempo “t” e;
- b) os dados históricos são representativos para as condições futuras.

Para McMahon¹² (1993 apud TOMAZ, 2005, p. 142), o método da simulação tem como atributos importantes:

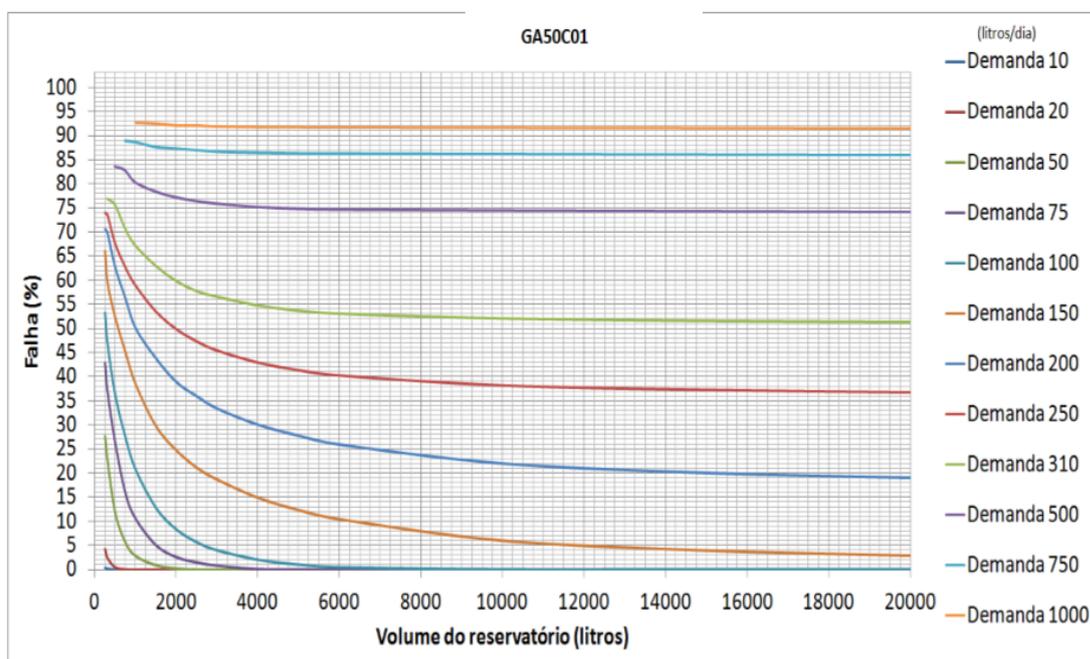
- a) é simples de ser usado e facilmente entendido;
- b) o uso de dados históricos incorpora os períodos críticos de seca;
- c) a análise pode usar dados diários ou mensais (mais usada) e;
- d) problemas sazonais e complicados são tomados em conta no uso da série histórica.

Com base no método da simulação com dados diários, Silva (2012) estabeleceu ferramentas que auxiliam no dimensionamento do reservatório de águas pluviais. O autor elaborou gráficos que relacionam o volume do reservatório, a demanda e as falhas decorrentes em porcentagem. Para isso, o autor realizou simulações com variações na área de captação, volume do reservatório, perda de captação e demanda de consumo. As áreas consideradas pelo autor foram, em m², de: 50, 100, 150, 200, 250, 300 e 500. Os volumes de reservatório utilizados foram, em litros: 250, 310, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000, 10000, 15000, 20000. Os valores de demanda considerados, em litros por dia foram: 10, 20, 75, 100, 150, 200, 250, 310, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000, 6000, 10000, 15000, 20000. Para casos em que a demanda é maior que o volume do reservatório, o autor utilizou, como demanda máxima, o volume do reservatório. O autor variou também os valores para perdas na captação, os valores utilizados por ele foram de 10% e 20%.

Silva (2012, p. 62) organizou os gráficos obtidos da seguinte forma: o autor criou uma nomenclatura da forma GAxCx, onde G significa que é um Gráfico, A indica a área utilizada e C, a perda adotada. O valor de “x” é substituído pelos valores da área e pelo valor decimal da perda adotada no gráfico, respectivamente. A figura 8 apresenta o gráfico obtido pelo autor para uma área de 50m² com perda de 10% na captação.

¹² MCMAHON, T. A. **Hidrology designn for water use**. In: Handbook of hidrology, David Maidment, 1993.

Figura 8 – Gráfico GA50C01



(fonte: SILVA, 2012, p. 65)

5.6.4 Método prático alemão

A NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 7) indica que o método prático alemão “Trata-se de um método empírico onde se toma o menor valor do volume do reservatório; 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável.”

5.6.5 Método prático inglês

Segundo a NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 7), o método prático inglês utiliza a equação 7 para o cálculo do volume do reservatório.

$$V = 0,05 \cdot P \cdot A$$

(equação 7)

Onde:

P = precipitação média anual, (mm);

A = área de captação (m²);

V = volume do reservatório (L).

5.6.6 Método prático australiano

Segundo a NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 8), primeiramente é realizado o cálculo do volume de chuva através da equação 8 e, em seguida, calcula-se o volume do reservatório por tentativas com a equação 9.

$$S_{(t)} = A \cdot C \cdot (P - I) \quad (\text{equação 8})$$

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + C \cdot S_{(t)} - D_{(t)} \quad (\text{equação 9})$$

Onde:

C = coeficiente de escoamento;

P = precipitação média mensal (mm);

I = interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2mm (mm);

A = área de coleta (m²);

V = volume mensal produzido pela chuva no mês t (L);

V_(t) = volume de água que está no tanque no fim do mês t (L);

V_(t-1) = volume de água que está no tanque no início do mês t (L);

D_(t) = demanda mensal (L).

6 CONSUMO DE ÁGUA

Tomaz (2005, p. 51) salienta a dificuldade de aplicar parâmetros de engenharia para estimativa do consumo de água potável residencial. Essa dificuldade ocorre por conta das muitas informações necessárias e que, nem sempre, estão disponíveis. O autor fornece os parâmetros para cálculo do consumo da demanda de água residencial externa (tabela 4) e interna (tabela 5) usados nos Estados Unidos e ressalta que não existem pesquisas sobre os mesmos no Brasil.

Tabela 4 – Parâmetros de engenharia para estimativa da demanda residencial de água para uso externo

Uso Externo	Unidade	Parâmetros
Casas com piscina	Porcentagem	0,1
Gramado ou jardim	Litros/dia/m ²	2
Lavagem de carros	Litros/Lavagem/carro	150
Lavagem de carros: frequência	Lavagem/mês	4
Mangueira de jardim 1/2" x 20cm	Litros/dia	50
Perdas por evaporação em piscinas	Litros/dia/m ²	5,75
Reenchimento de piscina	Anos	10
Tamanho da casa	m ²	30 a 450
Tamanho do lote	m ²	125 a 750

(fonte: TOMAZ, 2005, p. 52)

Tabela 5 – Parâmetros de engenharia para estimativa da demanda residencial de água para uso interno

Uso Interno	Unidade	Parâmetros		
		Inferior	Superior	Mais Provável
Gasto mensal	m ³ /pessoa/mês	3	5	5
Número de pessoas na casa	pessoa	2	5	3
Descarga na bacia	Descarga/pessoa/dia	4	6	5
Volume de descarga	Litros/descarga	6,8	18	9
Vazamento bacias sanitárias	Porcentagem	0	30	9
Frequência de banho	Banho/pessoa/dia	0	1	1
Duração do banho	Minutos	5	15	7,3
Vazão dos chuveiros	Litros/segundo	0,08	0,3	0,15
Uso da banheira	Banho/pessoa/dia	0	0,2	0,1
Volume de água	Litros/banho	113	189	113
Máquina de lavar pratos	Carga/pessoa/dia	0,1	0,3	0,1
Volume de água	Litro/ciclo	18	70	18
Máquina de lavar roupa	Minuto/pessoa/dia	0,2	0,37	0,37
Volume de água	Litros/segundo	108	189	108
Torneira da cozinha	Minuto/pessoa/dia	0,5	4	4
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,126	0,189	0,15
Torneira de banheiro	Minuto/pessoa/dia	0,5	4	4
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,126	0,189	0,15

(fonte: TOMAZ, 2005, p. 51)

O uso das duas tabelas apresentadas acima implica no conhecimento do número de moradores em cada residência. O Decreto n. 9369/88, do Departamento Municipal de Água de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2004) indica a população mínima que deve ser considerada em apartamentos e residências de acordo com a área dos dormitórios. Em dormitórios de até 12m² devem ser consideradas duas pessoas e em dormitórios com mais de 12m² devem ser consideradas três pessoas. Porto Alegre (2004) também indica o consumo de água diário que deve ser considerado para apartamentos e residências, que é de 200 litros *per capita*.

7 DEFINIÇÃO DE RESIDÊNCIA DE ALTO, NORMAL E BAIXO PADRÃO

Existem diversas formas para classificação de famílias e suas residências em padrões ou classes. Brasil (2011, p. 60) classifica famílias como de classe baixa, média e alta de acordo com a renda familiar e ainda subdivide essas classes. A classe baixa foi subdividida em mais três classes, os extremamente pobres, os pobres e os vulneráveis. Os extremamente pobres possuem renda familiar de até R\$ 81,00 *per capita*, para os pobres esse valor fica entre R\$ 81,00 e R\$ 162,00 e para os vulneráveis a renda familiar *per capita* está entre R\$ 162,00 e R\$ 291,00.

Ainda segundo Brasil (2011, p. 61), a classe média, bem como a classe baixa, é dividida em três grupos, são eles: baixa, média e alta classe média. A primeira corresponde à renda familiar *per capita* entre R\$ 291,00 e R\$ 441,00. Famílias com renda entre R\$ 441 e R\$ 641 *per capita* estão classificadas como baixa classe média e para a alta classe média o valor familiar *per capita* varia entre R\$ 641,00 e R\$ 1019,00.

Já a classe alta é dividida em baixa classe alta e alta classe alta. A renda familiar *per capita* da primeira vai até R\$ 2480,00 e valores acima desse pertencem à alta classe alta (BRASIL, 2011, p. 61). Vale salientar que todos os valores divisórios das classes e subclasses foram estabelecidos no estudo feito no ano de 2011 e estão sujeitos à correção monetária.

Associação Brasileira de Empresas de Pesquisa (2012) realiza uma classificação econômica em termos de classes sociais, um pouco diferente. As classes médias representadas são A1, A2, B1, B2, C1, C2, D e E. A classificação é feita por um sistema de pontos relacionado com a posse de itens da família e com o grau de instrução da pessoa considerada chefe da mesma (tabelas 6 e 7). A tabela 8 apresenta a classificação da família de acordo com a quantidade de pontos somados.

Tabela 6 – Pontuação relacionada com a quantidade de itens de posse da família

	Número de itens				
	0	1	2	3	4 ou mais
Televisão em cores	0	1	2	3	4
Rádio	0	1	2	3	4
Banheiro	0	4	5	6	7
Automóvel	0	4	7	9	9
Empregada mensalista	0	3	4	4	4
Máquina de lavar	0	2	2	2	2
Videocassete e/ ou DVD	0	4	4	4	4
Freezer (aparelho independente ou parte da geladeira duplex)	0	2	2	2	2

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA, 2011, p. 1)

Tabela 7 – Pontuação relacionada com a instrução do chefe da família

Nomenclatura Antiga	Nomenclatura atual	
Analfabeto/ Primário Incompleto	Analfabeto/ Fundamental Incompleto	0
Primário Completo/ Ginásial Incompleto	Fundamental 1 Completo/ Fundamental 2 Incompleto	1
Ginásial Completo/ Colegial Incompleto	Fundamental 2 Completo/ Médio Incompleto	2
Colegial Completo/ Superior Incompleto	Médio Completo/ Superior Incompleto	4
Superior Completo	Superior Completo	8

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA, 2011, p. 1)

Tabela 8 – Pontuação total de cada classe

Classe	Pontos
A1	42 – 46
A2	35 – 41
B1	29 – 34
B2	23 – 28
C2	18 – 22
C1	14 – 17
D	8 – 13
E	0 – 7

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA, 2011, p. 1)

A NBR 12721 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) faz uma classificação bem mais direta e de mais fácil aplicação quando o objetivo é determinar padrões para residências. A norma classifica as residências unifamiliares em padrão alto, normal e baixo de acordo com suas características principais e acabamento. A tabela 9 apresenta essa classificação de acordo com as características principais.

Tabela 9 – Características principais dos projetos-padrão para residências unifamiliares

Residência Unifamiliar		
Residência Padrão Baixo (R1-B)	Residência Padrão Normal (R1-N)	Residência Padrão Alto (R1-A)
Residência composta de dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área para tanque.	Residência composta de três dormitórios, sendo um suíte com banheiro, banheiro social, sala, circulação, cozinha, área de serviço com banheiro e varanda (abrigo para automóvel).	Residência composta de quatro dormitórios, sendo um suíte com banheiro e closet, outro com banheiro social, sala de estar, sala de jantar e sala íntima, circulação, cozinha, área de serviço completa e varanda (abrigo para automóvel).
Área real: 58,64 m ²	Área real: 106,44 m ²	Área real: 224,82 m ²

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005, p. 13)

8 LEVANTAMENTO DE DADOS

Visando a verificação da redução de água potável utilizada em três residências de diferentes padrões, foi elaborada uma metodologia simplificada para dimensionamento do reservatório de águas pluviais. Para elaboração da mesma, foram aplicados os seguintes métodos de dimensionamento do reservatório para identificação do mais adequado para o estudo.

- a) Método prático brasileiro;
- b) Método prático alemão;
- c) Método prático inglês;
- d) Método prático australiano;
- e) Método de Rippl;
- f) Método da simulação;
- g) Método do maior período de estiagem.

Para aplicação dos métodos citados acima, foi necessária a prévia realização das seguintes etapas:

- a) escolha das residências de padrão alto, normal e baixo;
- b) cálculo da área do telhado;
- c) cálculo do número de pessoas;
- d) cálculo do consumo de água;
- e) caracterização da pluviometria de Porto Alegre.

8.1 ESCOLHA DAS RESIDÊNCIAS DE PADRÃO ALTO, NORMAL E BAIXO

Foram escolhidas três residências para aplicação dos métodos de dimensionamento do reservatório de águas pluviais. A escolha foi realizada de acordo com a NBR 12721/2005, que estabelece padrões para residências unifamiliares de acordo com suas características principais e acabamentos. Foram selecionadas, uma residência de cada padrão conforme estabelecido pela norma (alto, normal e baixo), levando em consideração que as

características principais descritas é o mínimo que deve existir em cada residência para poder ser classificada como tal.

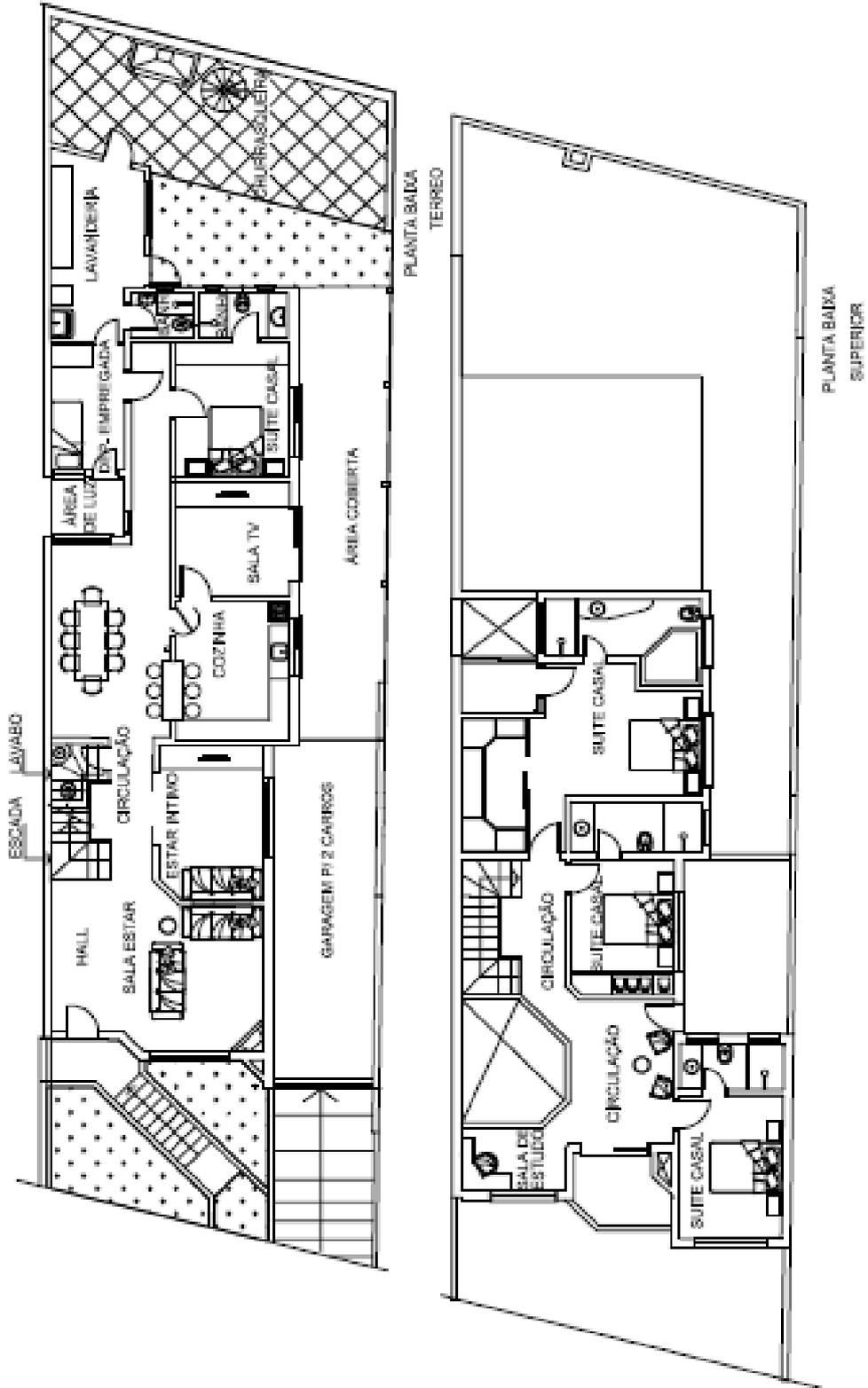
A residência de padrão alto selecionada possui dois pisos, com sala de estar, sala de jantar, estar íntimo, cozinha, circulação, lavanderia com banheiro, dependência de empregada, sala de TV, quatro suítes de casal, sendo uma com closet e banheiro e três com banheiro, um banheiro social, e garagem para dois carros.

A residência de padrão normal é térrea, possui três dormitórios, sendo um suíte, um banheiro social, circulação, sala, cozinha, lavanderia com banheiro e garagem para um carro.

A residência de padrão baixo também é térrea, possui dois dormitórios, um banheiro social, sala, cozinha e lavanderia. A residência não possui abrigo coberto para automóvel, porém existe espaço suficiente para acomodar um veículo no terreno.

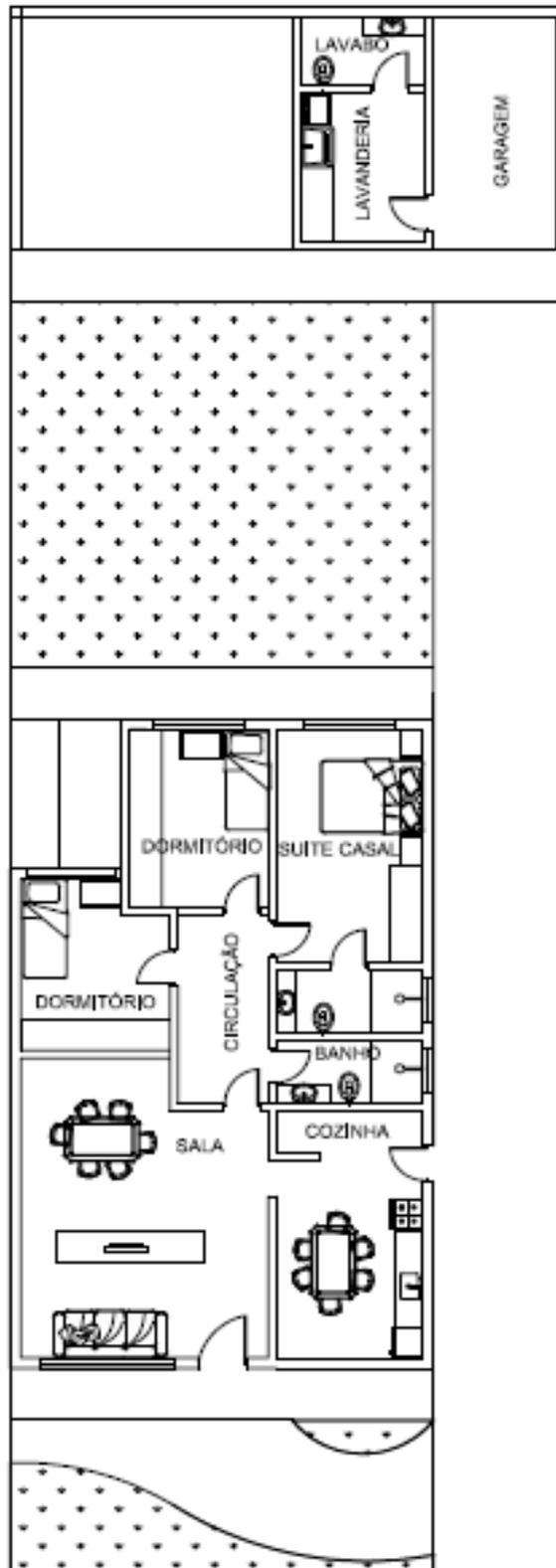
As figuras 9 a 11 apresentam as plantas baixas das residências utilizadas.

Figura 9 – Planta baixa da residência de padrão alto



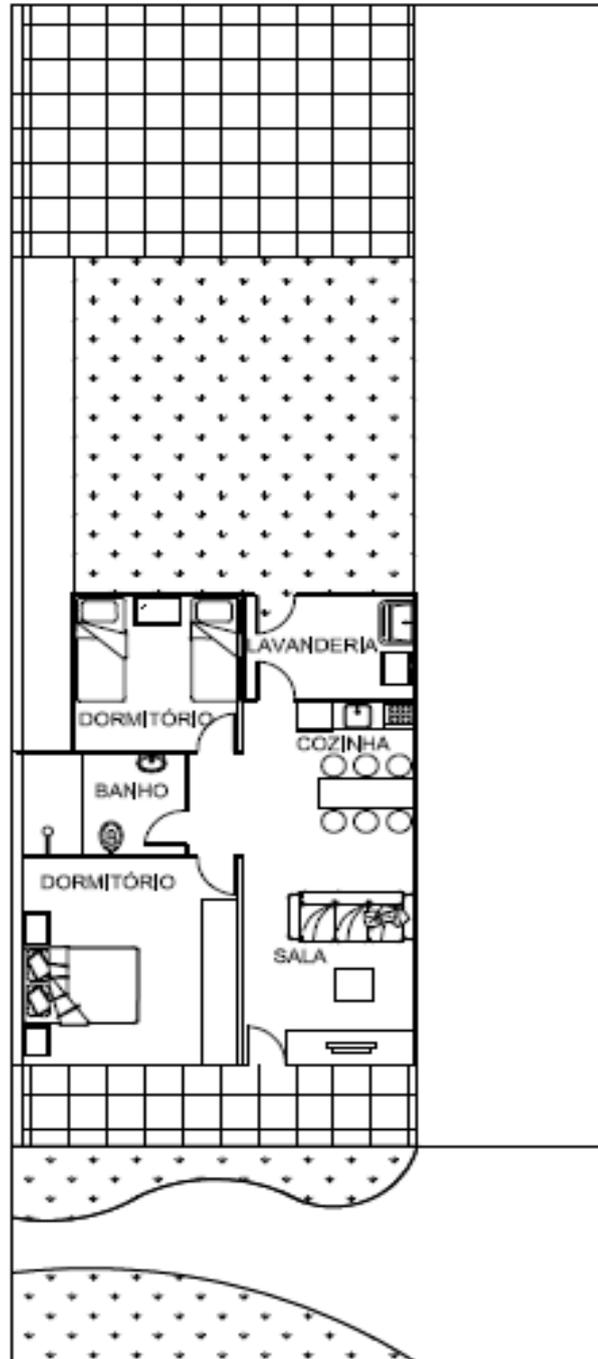
(fonte: trabalho não publicado)

Figura 10 – Planta baixa da residência de padrão normal



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 11 – Planta baixa da residência de padrão baixo



(fonte: elaborado pela autora)

8.2 CÁLCULO DA ÁREA DO TELHADO

Os cálculos das áreas do telhado foram realizados de acordo com a NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989). As três residências apresentam a mesma superfície de captação (superfície inclinada, letra b). Para o cálculo, as águas dos telhados foram numeradas, como apresentado nos apêndices A, B e C, e suas áreas foram calculadas através da equação 10. As tabelas 10 a 12 apresentam os cálculos realizados para as residências de padrão alto, normal e baixo, respectivamente.

$$A = (a + h/2) \times b \quad (\text{equação 10})$$

Onde:

A = área do telhado (m²);

a = projeção horizontal frontal do telhado (m);

b = projeção horizontal lateral do telhado (m);

h = altura do telhado.

Tabela 10 – Cálculo da área do telhado da residência de padrão alto

Água	a	b	h	Área (m ²)
1	9,42	7,3	3,94	83,15
2	9,42	7,3	3,94	83,15
3	3,01	3,92	1,37	14,5
4	3,01	3,92	1,37	14,5
5	1,97	2,5	1,62	6,95
6	1,97	2,5	1,62	6,95
7	5	7,27	1,71	42,60
8	3,2	2,42	0,63	8,5

Área total = 260 m²

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 11 – Cálculo da área do telhado da residência de padrão normal

Água	a	b	h	Área (m ²)
1	3,97	5,5	1,42	25,74
2	6,47	5,5	2,7	43,01
3	3,97	7,55	1,42	35,33
4	4,47	7,55	1,42	39,10
5	4,7	10,45	0,8	53,30
Área total = 196 m ²				

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 12 – Cálculo da área do telhado da residência de padrão baixo

Água	a	b	h	Área (m ²)
1	3,3	9,34	1,2	36,43
2	6,7	9,34	2,4	73,79
Área total = 110 m ²				

(fonte: elaborado pela autora)

8.3 CÁLCULO DO NÚMERO DE PESSOAS

O cálculo do número de moradores em cada residência foi realizado de acordo com o Decreto n. 9369/88, do Departamento Municipal de Água de Porto Alegre o qual considera duas pessoas para dormitórios de até 12m² e três pessoas para dormitórios de mais de 12m². O cálculo foi realizado para as três residências selecionadas considerando as áreas de seus dormitórios. A tabela 13 apresenta o número de pessoas consideradas para cada dormitório e o total de moradores de cada residência.

Tabela 13 – Cálculo do número de moradores de cada residência

Residência	Cômodo	m ²	Número de pessoas
Padrão Alto	Dormitório 1	>12	3
	Dormitório 2	>12	3
	Dormitório 3	<12	2
	Dormitório 4	<12	2
	Dependência de empregada	<12	2
	Total		12
Padrão Normal	Dormitório 1	>12	3
	Dormitório 2	<12	2
	Dormitório 3	<12	2
	Total		7
Padrão Baixo	Dormitório 1	>12	3
	Dormitório 2	<12	2
	Total		5

(fonte: elaborado pela autora)

8.4 CÁLCULO DO CONSUMO DE ÁGUA

Para o cálculo do consumo de água, foram selecionados os aparelhos sanitários mais comumente utilizados pelas residências de padrão alto, normal e baixo, bem como medidas as áreas de gramado e definido o número de carros existentes em cada uma. Então foram utilizados os parâmetros para estimativa de demanda de uso interno e externo de água, descritos nas tabelas 4 e 5, em conjunto com o número de moradores de cada residência, fornecido pela tabela 13. Vale salientar que os valores utilizados para o cálculo são os usados nos Estados Unidos e, devido à ausência de estudos dos mesmos para o Brasil e, considerando que a população dos dois países possui hábitos relacionados com consumo de água parecidos, os mesmos valores podem ser utilizados. Os itens a seguir apresentam o cálculo realizado para cada uma das residências.

8.4.1 Residência de padrão alto

Na residência de padrão alto, foram considerados como aparelhos sanitários: chuveiro, torneira do banheiro, descarga de bacia sanitária, máquina de lavar pratos, máquina de lavar roupa, torneira da cozinha e banheira. Além disso, sua área de gramado possui 32,7 m², e foram considerados 2 automóveis na residência. A norma indica apenas a presença de abrigo para automóvel em uma residência de padrão alto, porém devido ao fato de que normalmente existem mais de um veículo em residências de padrão alto, e, por essa ser a situação mais crítica, foram considerados existentes 2 automóveis. A tabela 14 apresenta os consumos obtidos para a residência de padrão alto.

Tabela 14 – Consumo de água por aparelho sanitário para a residência de padrão alto

Uso Interno		Uso externo	
Aparelho Sanitário	Consumo (L/dia)	Aparelho Sanitário	Consumo (L/dia)
Chuveiro	788,4	Torneira externa (Gramado/jardim)	65,4
Torneira banheiro	432		
Descarga bacia sanitária	408		
Máquina de lavar pratos	21,6	Torneira externa (Lavagem de carro)	39,3
Máquina de lavar roupa	479,52		
Torneira cozinha	432		
Banheira	135,6	-	-

(fonte: elaborado pela autora)

8.4.2 Residência de padrão normal

Na residência de padrão normal, foram considerados como aparelhos sanitários: chuveiro, torneira do banheiro, descarga de bacia sanitária, máquina de lavar pratos, máquina de lavar roupa, torneira da cozinha e banheira. Além disso, sua área de gramado possui 64,6 m², e foi considerado 1 automóvel na residência. A tabela 15 apresenta os consumos obtidos para a residência de padrão normal.

Tabela 15 – Consumo de água por aparelho sanitário para a residência de padrão normal

Uso Interno		Uso externo	
Aparelho Sanitário	Consumo (L/dia)	Aparelho Sanitário	Consumo (L/dia)
Chuveiro	459,9	Torneira externa (Gramado/jardim)	129,2
Torneira banheiro	252		
Descarga bacia sanitária	238		
Máquina de lavar pratos	12,6	Torneira externa (Lavagem de carro)	19,7
Máquina de lavar roupa	279,72		
Torneira cozinha	252		
Banheira	79,1	-	-

(fonte: elaborado pela autora)

8.4.3 Residência de padrão baixo

Na residência de padrão baixo, foram considerados como aparelhos sanitários: chuveiro, torneira do banheiro, descarga de bacia sanitária, máquina de lavar roupa e torneira da cozinha. Além disso, sua área de gramado possui 46,6 m². De acordo com a norma, uma residência de padrão baixo não possui garagem, porém, em muitas casas de padrão baixo existe pelo menos um automóvel, e, por ser essa a situação mais crítica, foi considerada a existência. A tabela 16 apresenta os consumos obtidos para a residência de padrão baixo.

Tabela 16 – Consumo de água por aparelho sanitário para residência de padrão baixo

Uso Interno		Uso externo	
Aparelho Sanitário	Consumo (L/dia)	Aparelho Sanitário	Consumo (L/dia)
Chuveiro	328,5	Torneira externa (Gramado/jardim)	93,2
Torneira banheiro	180		
Descarga bacia sanitária	170	Torneira externa (Lavagem de carro)	19,7
Máquina de lavar roupa	199,8		
Torneira cozinha	180	-	-

(fonte: elaborado pela autora)

8.4.4 Consumo total de água

Para o consumo de água total de cada residência, os consumos de água encontrados por aparelho sanitário foram somados e multiplicados por 1,1 considerando a possível ocorrência de vazamentos e as perdas em geral. Em seguida, foi calculado o consumo que seria substituído por água não potável proveniente do aproveitamento da água da chuva em cada residência. Para esse cálculo, foram utilizados os consumos referentes à descarga de bacia sanitária, rega de jardins e lavagem de automóveis. A tabela 17 apresenta o consumo de água não potável mensal e diária, o consumo de água total mensal e a porcentagem que a água não potável representa em cada residência.

Tabela 17 – Consumo de água por residência

Residência	Consumo de água não potável (m ³ /mês)	Consumo de água não potável (m ³ /dia)	Consumo de água total (m ³ /mês)	% de água não potável
Padrão Alto	17	0,56	84,1	20,2
Padrão Normal	12,8	0,42	51,7	24,8
Padrão Baixo	9,4	0,31	35,2	26,7

(fonte: elaborado pela autora)

8.5 CARACTERIZAÇÃO DA PLUVIOMETRIA DE PORTO ALEGRE

Os dados de pluviometria utilizados no presente trabalho foram obtidos através do sistema de informações hidrológicas da Agência Nacional de Águas disponível em meio digital. Foram utilizados os dados mensais (em milímetros de chuva por mês) e diários (em milímetros de chuva por dia), de 52 anos consecutivos (de 1961 a 2013) da estação de código 3051011, localizada na cidade de Porto Alegre. A tabela 18 fornece informações sobre a estação.

Tabela 18 – Informações sobre a estação 3051011 da ANA

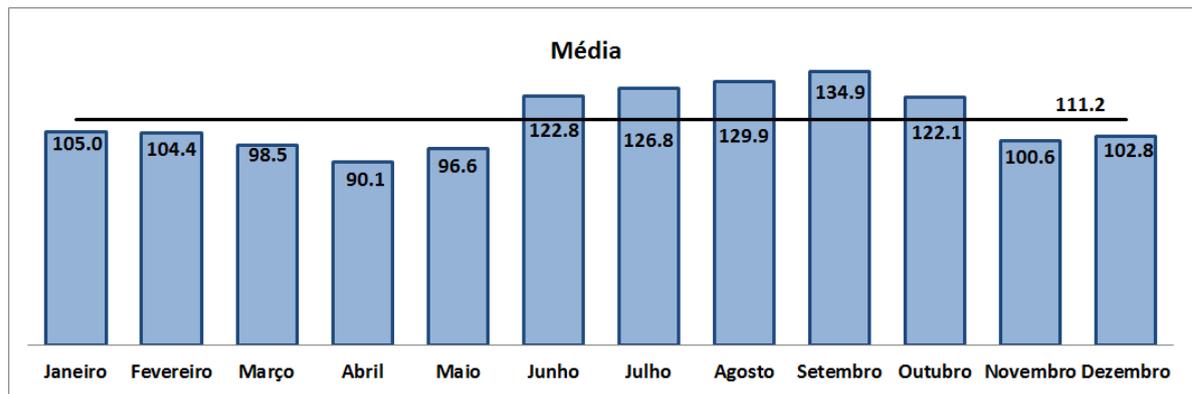
Código	3051011
Nome	Porto Alegre
Código Adicional	83967
Bacia	Atlântico, trecho sudeste
Sub-bacia	Lagoa dos patos
Estado	Rio Grande do Sul
Município	Porto Alegre
Responsável	INMET
Operadora	INMET
Latitude	-30:3:13
Longitude	-51:10:24
Altitude (m)	46,97

(fonte: adaptado de AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2014)

Com as amostras da pluviometria mensal e diária da cidade de Porto Alegre, foi detectada a existência de dias e meses sem leitura de precipitação. Nesses casos foi feito o preenchimento dessas falhas. Na amostra da pluviometria com dados mensais, as falhas foram preenchidas com a precipitação correspondente ao mesmo mês do ano mais seco identificado. Na amostra com dados diários, as falhas foram preenchidas seguindo a mesma lógica, com a precipitação correspondente ao mesmo dia do ano mais seco.

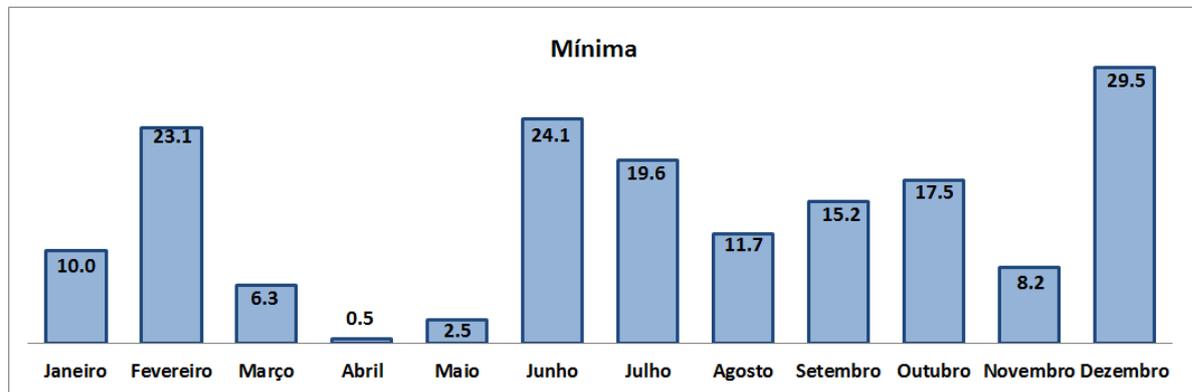
Com todas as falhas devidamente preenchidas e analisando os valores de pluviometria mensais, foi realizada uma análise estatística na qual foram identificados os anos mais seco e mais úmido bem como os valores médios, mínimos e máximos mensais. As figuras 12, a16 apresentam essas análises. As linhas retas traçadas nas figuras 15, a 19 apresentam a média anual dividida por 12 meses.

Figura 12 – Valores médios mensais de pluviometria para Porto Alegre



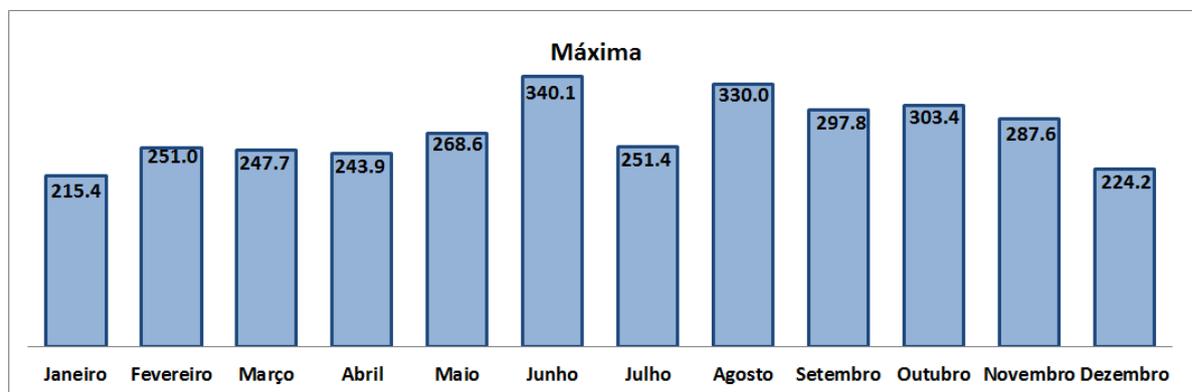
(fonte: adaptado de AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2014)

Figura 13 – Valores mínimos mensais de pluviometria para Porto Alegre



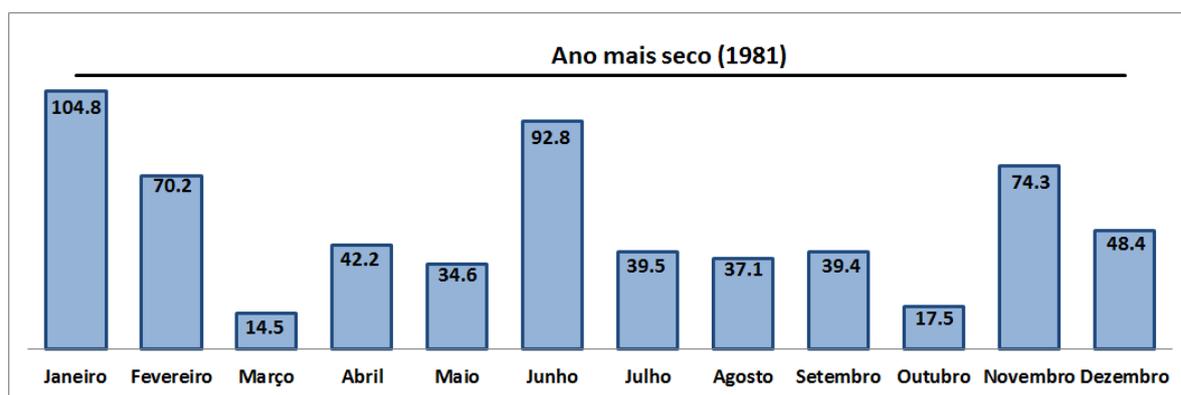
(fonte: adaptado de AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2014)

Figura 14 – Valores máximos mensais de pluviometria para Porto Alegre



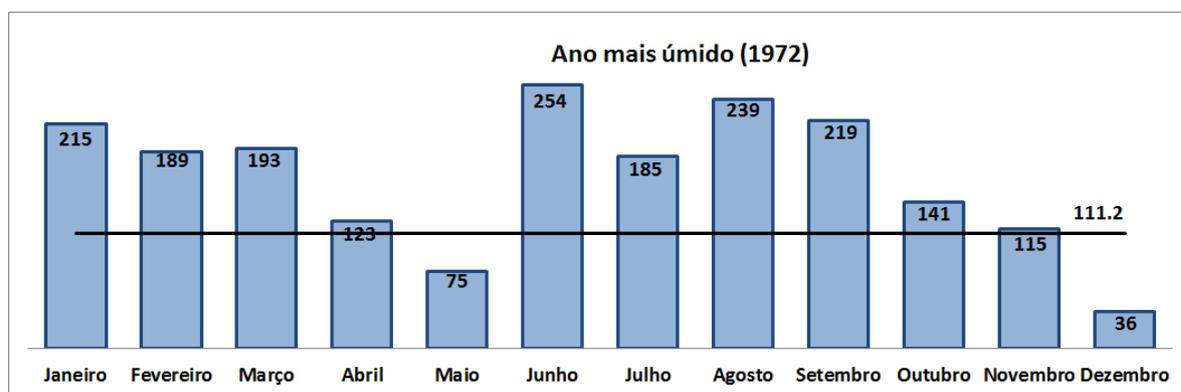
(fonte: adaptado de AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2014)

Figura 15 – Valores mensais de pluviometria do ano mais seco para Porto Alegre



(fonte: adaptado de AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2014)

Figura 16 – Valores mensais de pluviometria do ano mais úmido para Porto Alegre



(fonte: adaptado de AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2014)

Outras informações importantes que puderam ser identificadas a partir dos dados de pluviometria mensais e diários foram o número máximo de dias consecutivos sem chuvas e a média anual de precipitação. Para contagem dos dias consecutivos sem chuva, foram considerados dias com precipitação abaixo de 1mm. Esses valores estão representados na tabela 19.

Tabela 19 – Média anual de precipitação e número máximo de dias consecutivos sem chuva para a cidade de Porto Alegre

Dias consecutivos sem chuva	44
Média anual de precipitação (mm)	1334,6

(fonte: elaborado pela autora)

Para determinação de mês seco e úmido, foi calculada a média mensal dos 636 meses de dados disponíveis bem como o desvio padrão da amostra. Determinou-se, que, para ser considerado seco, o mês deve possuir precipitação máxima igual à média menos um desvio padrão. Para ser considerado úmido o mês deve possuir precipitação mínima igual à média mais um desvio padrão da amostra. A tabela 20 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 20 – Definição de mês seco e úmido para a cidade de Porto Alegre

Média mensal (M) (mm)	111,21
Desvio Padrão (σ) (mm)	62,51
$M + \sigma$ (mm)	173,72
$M - \sigma$ (mm)	48,70

(fonte: elaborado pela autora)

Analisando a pluviometria de Porto Alegre, nota-se, que, na média, nenhum mês do ano é seco ou úmido. Isso ocorre devido ao fato de que, em Porto Alegre, as chuvas são bem distribuídas, não existindo épocas de seca e de chuva determinadas. Porém ao analisar apenas a média, pode-se chegar à conclusão errônea de que não existem meses secos ou úmidos, mas, observando os valores máximos e mínimos mensais de pluviometria, pode-se notar a existência de meses muito secos ou com muita chuva, porém os mesmos não ocorrem sempre em uma mesma época.

9 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

Para a aplicação dos métodos de dimensionamento de águas pluviais, foi necessário dimensionar também o reservatório de auto-limpeza a ser instalado em cada residência. O mesmo armazena e dispensa a primeira água da chuva e isso implica em uma determinada quantidade de água captada pelo telhado que deixa de ser armazenada para aproveitamento. Os itens seguintes apresentam a aplicação de dimensionamento dos reservatórios de auto-limpeza e de armazenamento de águas pluviais.

9.1 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE AUTO-LIMPEZA

Para o dimensionamento do reservatório de auto-limpeza, foi considerado que o mesmo deve armazenar 1,5mm de chuva por metro quadrado de telhado. Foi adotado o maior valor recomendado por Dacach (1990 apud TOMAZ, 2005 p. 95) garantindo que todo o escoamento com resíduos grosseiros seja descartado. A tabela 21 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 21 – Volume do reservatório de auto-limpeza

Residência	Área do telhado (m ²)	Volume do reservatório de auto-limpeza (m ³)
Padrão Alto	260	0,39
Padrão Normal	196	0,30
Padrão Baixo	110	0,16

(fonte: elaborado pela autora)

9.2 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Os métodos de dimensionamento do reservatório de águas pluviais aplicados nas três residências selecionadas foram os presentes na NBR 15527/ 2007 mais o método do maior período de estiagem. Os itens a seguir apresentam os cálculos realizados para a aplicação de cada método.

9.2.1 Método prático brasileiro

O método prático brasileiro foi aplicado nas três residências através da equação 5. Para aplicação desse método, é necessário determinar o número de meses de pouca chuva ou seca (T). Assim, percebe-se que esse método é mais adequado para regiões que possuem um período seco bem determinado, que não é o caso da cidade de Porto Alegre. Sendo assim, optou-se por aplicar o método com dois valores para o número de meses de pouca chuva, os valores utilizados para **T**, então, foi igual a um e dois meses secos. A tabela 22 apresenta o cálculo realizado para as três residências com **T** igual a um e a tabela 23 com **T** igual a dois.

Tabela 21 – Volume do reservatório obtido pelo método prático brasileiro com T =1

Residência	Volume do reservatório (m ³)
Padrão Alto	14,6
Padrão Normal	11,0
Padrão Baixo	6,2

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 23 – Volume do reservatório obtido pelo método prático brasileiro com T=2

Residência	Volume do reservatório (m ³)
Padrão Alto	29,2
Padrão Normal	22,0
Padrão Baixo	12,3

(fonte: elaborado pela autora)

9.2.2 Método prático alemão

Segundo o método prático alemão, o volume de reservatório é o menor valor entre 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação captada. A tabela 24 apresenta o resultado obtido para cada um desses casos. O coeficiente de escoamento **C** foi considerado igual a 0,8 por ser aproximadamente a média dos valores apresentados para telhado na tabela 2.

Tabela 24 – Volume do reservatório obtido pelo método prático alemão

Residência	6% do volume anual de consumo (m ³)	6% do volume anual de precipitação captada (m ³)	Volume do reservatório (m ³)
Padrão Alto	12,2	16,7	12,2
Padrão Normal	9,2	12,6	9,2
Padrão Baixo	6,8	7,0	6,8

(fonte: elaborado pela autora)

9.2.3 Método prático inglês

O método prático inglês foi aplicado, nas três residências selecionadas, através da equação 7. A tabela 25 apresenta os resultados.

Tabela 25 – Volume do reservatório obtido pelo método prático inglês

Residência	Volume do reservatório (m ³)
Padrão Alto	17,4
Padrão Normal	13,1
Padrão Baixo	7,4

(fonte: elaborado pela autora)

9.2.4 Método de Rippl

Para aplicação do método de Rippl, podem ser utilizados valores mensais ou diários de precipitação. No presente trabalho, para cada uma das residências o método foi aplicado, utilizando, primeiramente os valores mensais e, em seguida valores diários.

Para a aplicação do método com valores diários de precipitação, subtraiu-se 2mm de chuva por dia, considerando que 0,5mm de chuva não são suficientes para gerar escoamento e que 1,5 milímetros de chuva são retidos e eliminados pelo reservatório de auto-limpeza. Para o método aplicado com os valores mensais, não foi possível fazer a mesma consideração pois não é conhecida a quantidade de dias com chuva. O coeficiente de escoamento “C” foi considerado igual a 0,8. A tabela 26 apresenta os cálculos realizados para a aplicação do método de Rippl com valores diários na residência de padrão alto.

Tabela 26 – Aplicação do método de Rippl para residência de padrão alto

A (m ²)	260	D (m ³)	0,56
C	0,8	-	-

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Data	P média diária (mm)	P média diária - 2 (mm)	Volume captado (m ³)	D - (4)	Volume do reservatório (m ³)
02/jan/1961	0	0	0	0,56	0,56
03/jan/1961	0,2	0	0	0,56	1,11
01/jan/1961	2,4	0,4	0,08	0,47	1,59
...					
29/12/2013	0	0	0	0,56	13,38
30/12/2013	0	0	0	0,56	13,93
31/12/2013	0,2	0	0	0,56	14,49
Volume final do reservatório (m ³)					34,6

(fonte: elaborado pela autora)

As colunas da tabela anterior estão descritas a seguir:

- a) a coluna 1 apresenta a data em que foi realizada a leitura da precipitação;
- b) a coluna 2 apresenta a leitura da precipitação, em mm, na data fornecida pela coluna 1;
- c) a coluna 3 representa a leitura da precipitação depois de subtraídos os 2mm considerados para a retenção de água pelo reservatório de auto-limpeza e a quantidade de água que não gera escoamento;
- d) a coluna 4 apresenta o volume de água da chuva que pode ser captado pelo telhado no dia em m³. Esse cálculo foi feito através da equação 1;
- e) a coluna 5 apresenta a subtração entre a demanda e o volume de água de chuva captado no dia. Esse valor pode ser positivo ou negativo, se for negativo, significa que a chuva captada abastece a demanda. Se esse valor for positivo significa que a água captada no dia não é capaz de suprir a demanda para o mesmo, e, então, seria necessário ter água já armazenada;
- f) a coluna 6 apresenta a soma dos valores positivos consecutivos da coluna 5. Quando a coluna 5 apresenta um número negativo, a contagem reinicia. O maior valor encontrado na coluna 6 representa o volume que o reservatório deve possuir.

Os resultados do volume do reservatório de águas pluviais obtidos pelo método de Rippl com valores diários estão apresentados na tabela 27, com valores mensais na tabela 28.

Tabela 27 – Volume do reservatório obtido pelo método de Rippl com valores diários

Residência	Volume do reservatório (m ³)
Padrão Alto	34,6
Padrão Normal	26,1
Padrão Baixo	19,2

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 28 – Volume do reservatório obtido pelo método de Rippl com valores mensais

Residência	Volume do reservatório (m ³)
Padrão Alto	66,3
Padrão Normal	47,9
Padrão Baixo	104,3

(fonte: elaborado pela autora)

Nota-se que o método de Rippl aplicado com valores diários fornece um resultado de volume de reservatório maior para a residência de padrão alto, um menor para a residência de padrão normal e um ainda menor para a residência de padrão baixo. Já, quando o método é aplicado com valores mensais, o volume do reservatório da residência de padrão normal é menor que o da residência de padrão alto, porém o reservatório da residência de padrão baixo deve ser muito maior do que o das outras duas residências. Isso ocorre devido ao fato de que as áreas de captação das residências dos padrões alto e normal são proporcionalmente maiores do que a da residência de padrão baixo em relação ao consumo de água. A tabela 29 apresenta essa relação.

Em meses em que a chuva não foi abundante, porém não estando no período mais seco, a quantidade de água captada pelas duas residências (de padrão alto e normal) consegue suprir a demanda do mês causando uma descontinuidade nos números positivos resultantes da coluna 5. Já na residência de padrão baixo, a quantidade de chuva captada não supre totalmente a

demanda e necessita de um valor pequeno de suprimento externo de água dando continuidade aos números positivos da coluna 5, assim, aumentando o volume do reservatório. Quando o método é aplicado com os valores diários, essa situação não ocorre porque dentro do mês em que houve uma necessidade pequena de suprimento externo de água houve dias em que a demanda foi suprida pelo volume de chuva captado, gerando uma descontinuidade nos valores positivos da coluna 5.

Tabela 29 – Relação entre área de captação e consumo de água não potável

Residência	Área (m ²)	Consumo de água não potável (m ³)	Área / consumo de água não potável mensal (m ² /m ³)
Padrão Alto	260	17,0	15,3
Padrão Normal	196	12,8	15,3
Padrão Baixo	110	9,4	11,7

(fonte: elaborado pela autora)

9.2.5 Método da simulação

O método da simulação, assim como o método de Rippl, foi aplicado com valores mensais e diários. Também como no método de Rippl foram subtraídos 2mm da precipitação diária e o coeficiente de escoamento **C** foi considerado igual a 0,8. As simulações foram feitas, para as três residências selecionadas com os seguintes volumes de reservatório pré-determinados: 0, 1, 2,5, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 200, 300 e 400m³. Foram determinados valores de reservatório até 400m³, que é um valor muito alto e praticamente inviável, com o intuito de extrapolar os resultados e verificar, a partir de qual dimensão de reservatório, o aumento do volume do mesmo não implica em um aumento no atendimento à demanda. Nos casos nos quais essa situação ocorreu com volumes de reservatório menores, as simulações foram realizadas apenas até esse volume, não havendo necessidade de simular volumes maiores.

A tabela 30 apresenta a aplicação do método da simulação na residência de padrão alto com valores diários e com um volume de reservatório de 10m³.

Tabela 30 – Aplicação do método da simulação para residência de padrão alto

A (m ²)	260	D (m ³)	0,56
C	0,8	Volume do reservatório (m ³)	10

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Data	P média diária (mm)	P média diária -2 (mm)	Volume captado (m ³)	Volume no reservatório no tempo t-1	Volume no reservatório no tempo t	Overflow	Suprimento de água externo
02/jan/1961	0	0	0	0,0	-0,56	0	0,56
03/jan/1961	0,2	0	0	0,0	-0,56	0	0,56
01/jan/1961	2,4	0,4	0,08	0,0	-0,47	0	0,47
”							
29/12/2013	0	0	0	1,9	1,32	0	0
30/12/2013	0	0	0	1,3	0,76	0	0
31/12/2013	0,2	0	0	0,8	0,20	0	0

(fonte: elaborado pela autora)

As colunas da tabela anterior estão descritas a seguir:

- a) as colunas 1, 2, 3 e 4 são idênticas às apresentadas no método de Rippl;
- b) a coluna 5 apresenta o volume do reservatório no tempo t-1, ou seja no início do dia (ou do mês quando o método for aplicado com os valores mensais). Para a primeira linha da tabela, esse valor é zero devido ao fato de que o reservatório foi considerado vazio no início da simulação. Para as outras linhas, esse valor é determinado do seguinte modo: se o valor da coluna 6 para a data imediatamente anterior for menor que zero, o valor do volume do reservatório no tempo t-1 para a data em questão será zero, se não, será o valor encontrado na coluna 6;
- c) a coluna 6 apresenta volume do reservatório no tempo t, ou seja, no final do dia (ou do mês, no caso de valores mensais). Esse valor é obtido do seguinte modo: se o volume de chuva captado mais o volume do reservatório no tempo t-1 menos o valor da demanda for maior que o volume fixado do reservatório, esse valor será o próprio valor do reservatório, se não, será o volume de chuva captado mais o volume do reservatório no tempo t-1 menos o volume do reservatório. Se esse valor for negativo, entende-se que o volume no reservatório é 0 sendo necessário suprimento externo de água para atendimento da demanda;
- d) a coluna 7 apresenta o volume de água da chuva que foi captada e foi jogada fora devido ao reservatório já estar cheio. Esse valor é obtido da seguinte forma: se o volume de chuva captado mais o volume do reservatório em t-1 menos a demanda for menor que o volume do reservatório, o overflow será 0,

se não esse valor será o volume de chuva captado mais o volume do reservatório em t-1 menos a demanda menos o volume fixado do reservatório;

- e) a coluna 8 apresenta a quantidade de água que pode ser necessária do meio externo, que pode ser do serviço público, por exemplo. Esse valor é obtido do seguinte modo: se o volume de água captado mais o volume do reservatório no tempo t-1 menos a demanda for maior que zero, esse valor é zero, se não esse valor será a demanda menos o volume de chuva captado menos o volume do reservatório em t-1.

A figura 17 apresenta os resultados obtidos para o método aplicado com valores mensais e diários, para os volumes de reservatório simulados, para a residência de alto padrão.

Figura 17 – Resultados obtidos para o método da simulação com valores mensais e diários de pluviometria para residência de padrão alto



(fonte: elaborado pela autora)

Analisando a figura 17 nota-se que, para pequenos reservatórios, aplicando os métodos com valores diários de precipitação, como o balanço de massa é feito diariamente, obtém-se resultados de menor porcentagem de atendimento para um mesmo volume de reservatório em comparação ao método aplicado com valores mensais de precipitação. Entretanto, para reservatórios maiores, o método apresenta resultados muito próximos, como pode-se observar, com melhor visibilidade, no detalhe presente na figura anterior. Além, disso, pode-se perceber que, mesmo para reservatórios muito pequenos (inclusive com volume igual a 0), os métodos apresentam um bom atendimento à demanda. Isso ocorre porque na coluna 6 da tabela 32, para definir o volume do reservatório, a demanda é subtraída diretamente da soma entre

volume de chuva captada e volume do reservatório no tempo $t-1$. Isso significaria que primeiro a demanda é suprida e, depois o reservatório é cheio. Quando o método é aplicado com valores diários, a água não está sendo consumida durante a chuva. As operações realizadas na tabela 30 seriam coerentes se toda a demanda do dia fosse suprida com a água captada no início da chuva e, então, depois do atendimento a demanda, o reservatório enchesse.

O presente trabalho, então propõe uma modificação no método da simulação para aplicação com valores diários. Essa modificação é baseada no fato de que a situação real seria: chove em um determinado momento, a água captada enche o reservatório e, então, a água é consumida, esvaziando o mesmo. A tabela 31 apresenta a aplicação do método com as modificações propostas pelo presente trabalho, denominado **método da simulação modificado**, para uma situação idêntica à apresentada na tabela 30.

Tabela 31 – Aplicação do método da simulação modificado para residência de padrão alto

A (m ²)	260	D (m ³)	0,56
C	0,8	Volume do reservatório (m ³)	10

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Data	P média diária (mm)	P média diária -2 (mm)	Volume captado (m ³)	Volume no reservatório no tempo $t-1$	Volume do reservatório no tempo t	Volume no reservatório no tempo $t+1$	Overflow	Suprimento de água externo
02/jan/1961	0	0	0	0,0	0	-0,56	0	0,56
03/jan/1961	0,2	0	0	0,0	0	-0,56	0	0,56
04/jan/1961	2,4	0,4	0,08	0,0	0,08	-0,47	0	0,47
...								
29/12/2013	0	0	0	0	0	0,52	0	0,56
30/12/2013	0	0	0	0	0	-0,03	0	0,56
31/12/2013	0,2	0	0	0	0	-0,56	0	0,56

(fonte: elaborado pela autora)

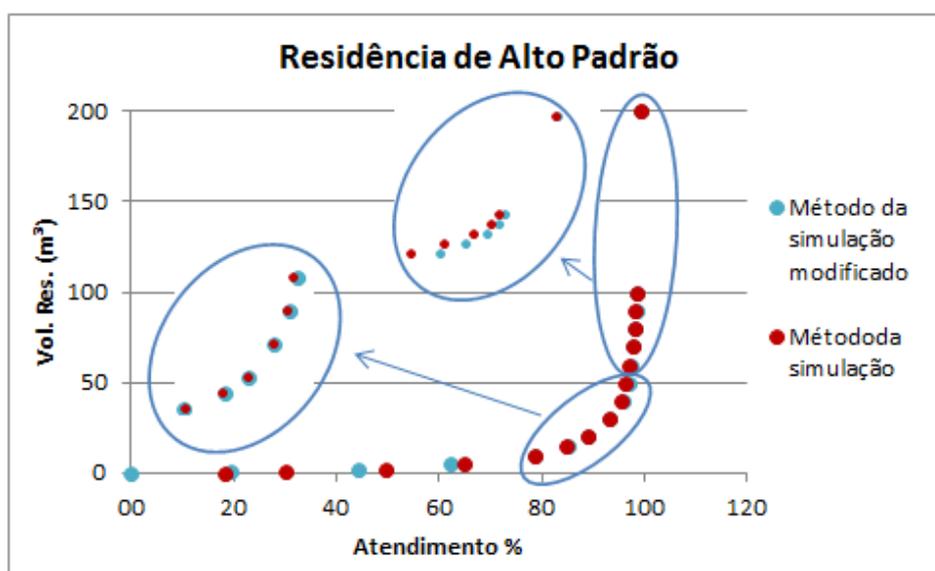
As colunas da tabela estão descritas a seguir:

- a) as colunas 1, 2, 3, 4 e 5 são idênticas às da tabela 30;

- b) a coluna 6 apresenta o volume do reservatório imediatamente após a chuva e anterior ao início do consumo. Esse resultado é obtido da seguinte forma: se a soma entre o volume de chuva captado e o volume do reservatório no tempo $t-1$ for maior que o volume do reservatório, esse valor é o volume do reservatório, se não esse valor é o volume de chuva captado mais o volume do reservatório no tempo $t-1$;
- c) a coluna 7 apresenta o volume do reservatório após o consumo da água. Esse valor é obtido subtraindo a demanda do valor obtido na coluna 6;
- d) as colunas 8 e 9 são semelhantes às colunas 7 e 8 da tabela 30 respectivamente.

A figura 18 apresenta uma comparação feita entre o método da simulação e o método da simulação modificado, proposto no presente trabalho, para a residência de padrão alto.

Figura 18 – Resultados obtidos para o método da simulação e método da simulação modificado para residência de padrão alto



(fonte: elaborado pela autora)

Analisando a figura 18 pode-se notar que, para volumes grandes de reservatório, os dois métodos fornecem resultados muito próximos. Já para reservatórios pequenos, o método da simulação modificado apresenta valores de atendimento bem menores em relação ao método da simulação, inclusive, quando não existe nenhum reservatório instalado, (volume igual a zero) o método modificado apresenta um atendimento igual a zero, que é a situação real. Isso ocorre porque, reservatórios pequenos não conseguem armazenar grande parte da chuva que é captada pelo telhado, gerando o chamado overflow. Em reservatórios grandes onde a quantidade de água jogada fora é muito reduzida, as modificações tornam-se desnecessárias.

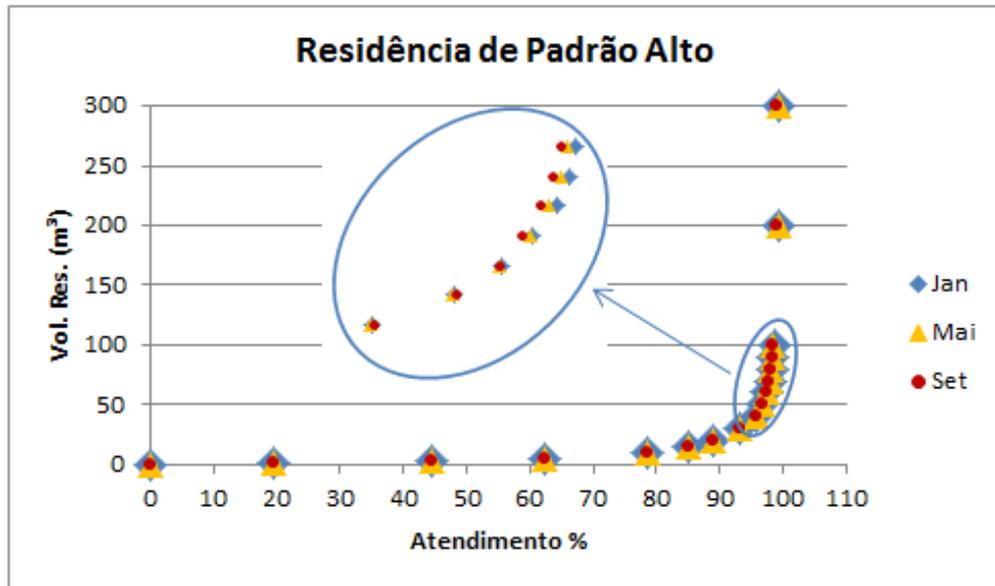
Sendo assim, como os reservatórios instalados em residências geralmente são pequenos, optou-se por aplicar o método da simulação modificado para valores diários de precipitação. Vale salientar que o mesmo não representa com exatidão a realidade para a demanda ser suprida durante o dia, mas representa mais fielmente o que ocorre quando os reservatórios disponíveis são pequenos.

Para a aplicação com valores mensais de precipitação, o método da simulação modificado é adequado, consideraria que toda a chuva ocorre no início do mês. Assim, optou-se por aplicar o método da simulação (como apresentado na tabela 32) retirando das simulações o volume de reservatório igual a zero. Porém, é importante salientar que os valores de atendimento fornecidos por esse método são maiores que os reais, já que o método não considera que, em dias com grandes precipitações, o volume do reservatório limita a quantidade de água armazenada antes de a mesma ser consumida.

Outra consideração feita foi a época em que o reservatório foi instalado. Já que o mesmo foi considerado vazio no início das simulações. Se a época inicial fosse de seca, o mesmo demoraria a encher e suprir a demanda. Por esse motivo, tanto para aplicação do método com valores mensais como com valores diários de precipitação, foram feitas simulações com início em três meses do ano, sendo eles: janeiro, maio e setembro. Os mesmos foram escolhidos por apresentarem um mesmo intervalo de tempo entre si. O apêndice D apresenta os resultados de atendimento à demanda por volume de reservatório fornecidos pelo método da simulação, aplicado com valores mensais, e pelo método da simulação modificado, aplicado com valores diários, para os três meses do ano citados e para as três residências selecionadas.

A figura 19 apresenta os resultados, fornecidos pelo método da simulação modificado aplicado com valores diários de precipitação, para a residência de padrão alto. Analisando a figura, pode-se notar que a época do ano em que as simulações iniciam não altera significativamente o atendimento à demanda, o resultado foi o mesmo para as três residências estudadas tanto para aplicação do método da simulação modificado para os valores diários de precipitação como para o método da simulação aplicado para os valores mensais de precipitação. Isso ocorre porque a chuva, na cidade de Porto Alegre, é bem distribuída durante o ano.

Figura 19 – Resultados obtidos para o método da simulação modificado aplicado com valores diários de precipitação para a residência de Padrão alto



(fonte: elaborado pela autora)

9.2.6 Método prático australiano

O método prático australiano consiste em um balanço de massas semelhante ao do método da simulação, como mostram as equações 8 e 9, porém leva em consideração a pluviometria média mensal para cada mês do ano. Como a cidade de Porto Alegre não possui, na média, meses secos, o método prático australiano fornece, como resultados, volumes muito pequenos de reservatório. As tabelas 32 a 34 apresentam os cálculos realizados para as três residências de padrão alto, normal e baixo respectivamente. Como no método da simulação, o cálculo foi feito também considerando que o volume inicial do reservatório é igual a 0.

Tabela 32 – Aplicação do método prático australiano para residência de padrão alto

A (m ²)	260	I (mm)	2
C	0,8	D (m ³)	17
Volume do reservatório (m ³)	1	-	-

Mês	P média mensal (mm)	Volume captado (m ³)	Volume no reservatório no tempo t-1	Volume no reservatório no tempo t	Ouerverflow (m ³)	Suprimento de água externo (m ³)
Jan	105,9	21,6	0	1	3,6	0
fev	104,5	21,3	1	1	4,3	0
mar	96,5	19,7	1	1	2,7	0
abr	89,1	18,1	1	1	1,1	0
mai	94,2	19,2	1	1	2,2	0
jun	124,4	25,5	1	1	8,5	0
jul	128,9	26,4	1	1	9,4	0
ago	126,5	25,9	1	1	8,9	0
set	134,2	27,5	1	1	10,5	0
out	123,1	25,2	1	1	8,2	0
nov	95,3	19,4	1	1	2,4	0
dez	102,1	20,8	1	1	3,8	0

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 33 – Aplicação do método prático australiano para residência de padrão normal

A (m ²)	196	I (mm)	2
C	0,8	D (m ³)	12,8
Volume do reservatório (m ³)	1	-	-

Mês	Pmédia mensal (mm)	Volume captado (m ³)	Volume no reservatório no tempo t-1	Volume no reservatório no tempo t	Ouerverflow (m ³)	Suprimento de água externo (m ³)
Jan	105,9	16,3	0	1	2,5	0
fev	104,5	16,1	1	1	3,3	0
mar	96,5	14,8	1	1	2,0	0
abr	89,1	13,7	1	1	0,9	0
mai	94,2	14,5	1	1	1,7	0
jun	124,4	19,2	1	1	6,4	0
jul	128,9	19,9	1	1	7,1	0
ago	126,5	19,5	1	1	6,7	0
set	134,2	20,7	1	1	7,9	0
out	123,1	19,0	1	1	6,2	0
nov	95,3	14,6	1	1	1,8	0
dez	102,1	15,7	1	1	2,9	0

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 34 – Método prático australiano para residência de padrão baixo

A (m ²)	110	I (mm)	2
C	0,8	D (m ³)	9,4
Volume do reservatório (m ³)	1,5	-	-

Mês	Pmédia mensal (mm)	Volume captado (m ³)	Volume no reservatório no tempo t-1	Volume no reservatório no tempo t	Ouerverflow (m ³)	Suprimento de água externo (m ³)
Jan	105,9	9,1	0	-0,25	0	0,25
fev	104,5	9,0	0	-0,38	0	0,38
mar	96,5	8,3	0	-1,08	0	1,08
abr	89,1	7,7	0	-1,74	0	1,74
mai	94,2	8,1	0	-1,28	0	1,28
jun	124,4	10,8	0	1,37	0	0,00
jul	128,9	11,2	1,4	3,14	1,6	0,00
ago	126,5	11,0	3,1	4,70	1,6	0,00
set	134,2	11,6	4,7	6,93	2,2	0,00
out	123,1	10,7	6,9	8,19	1,3	0,00
nov	95,3	8,2	8,2	7,00	0	0,00
dez	102,1	8,8	7,0	6,42	0	0,28

(fonte: elaborado pela autora)

Pode-se notar que, segundo o método prático australiano, nas residências de padrão alto e normal, devido à área de captação ser grande em relação ao consumo de água, um reservatório muito pequeno como de 1 m³ supre a demanda sem necessitar de suprimento externo de água, porém, como visto no método da simulação, isso não ocorre na realidade. Na residência de padrão baixo, um reservatório um pouco maior, mas ainda bem pequeno, com 1,5 m³, supre a demanda, porém, nos primeiros meses há necessidade de suprimento externo devido à pequena área de captação que não detém água suficiente para o suprimento da demanda. Nesse caso, aumentar o volume do reservatório não modifica o resultado, para um maior atendimento à demanda a área de captação deveria ser ampliada. Para a residência de padrão baixo, o resultado também é errôneo, já que, como visto no método da simulação, um reservatório pequeno não resultaria no atendimento indicado pelo método prático australiano.

9.2.7 Método do maior período de estiagem

O método do maior período de estiagem foi aplicado nas três residências selecionadas de acordo com a equação 4. A tabela 35 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 35 – Volume do reservatório obtido pelo método do maior período de estiagem

Residência	Volume do reservatório (m ³)
Padrão Alto	24,5
Padrão Normal	18,5
Padrão Baixo	13,6

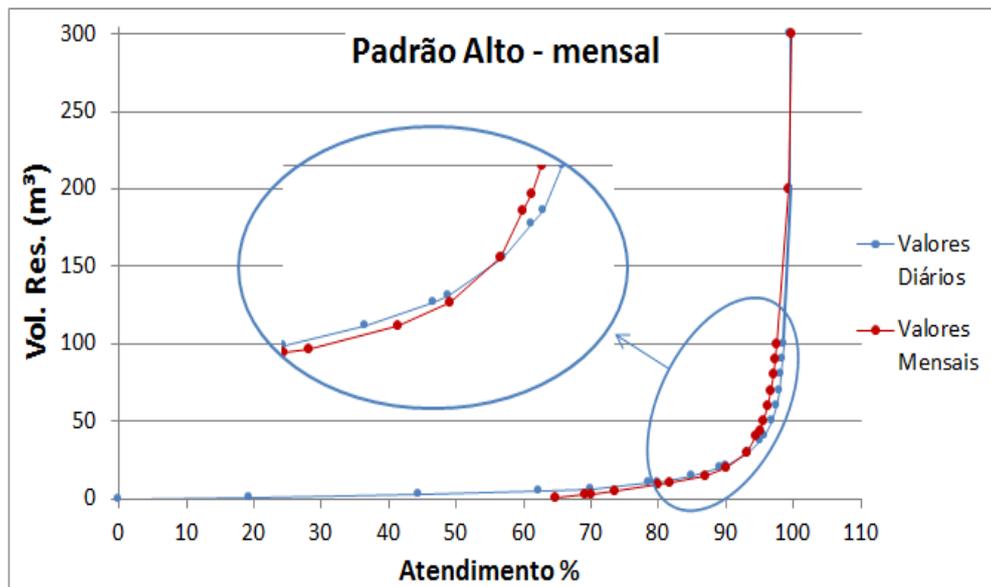
(fonte: elaborado pela autora)

9.3 Comparação entre os métodos de dimensionamento do reservatório

Para identificar o método mais adequado para o dimensionamento do reservatório de águas pluviais em residências unifamiliares, foi realizada uma comparação entre os diversos métodos aplicados em cada uma das residências selecionadas. O método da simulação fornece volumes de reservatório de acordo com a sua porcentagem de atendimento, possibilitando ao projetista conciliar custos e necessidade de atendimento à demanda. Os demais métodos aplicados fornecem apenas o volume do reservatório que seria adequado à situação.

Primeiramente foi feita uma comparação entre o método da simulação aplicado com valores mensais e o método da simulação modificado aplicado com valores diários. Para isso foram utilizados os resultados referentes às simulações com início no mês de janeiro, já que não ocorreram diferenças significativas relacionadas com a época do ano em que o reservatório é instalado. A figura 20 apresenta o resultado obtido para a residência de padrão alto.

Figura 20 – Comparação entre o método da simulação aplicado com valores mensais e o método da simulação modificado aplicado com valores diários para a residência de padrão alto



(fonte: elaborado pela autora)

Para menores volumes de reservatório, o método da simulação modificado aplicado com valores diários de precipitação fornece volumes superiores para uma mesma porcentagem de atendimento à demanda em relação ao método da simulação aplicado com valores mensais. Isso ocorre devido ao fato de que esse último considera que a água captada, primeiramente, supre a demanda para, depois, ser armazenada no reservatório. Assim a água captada do telhado supriria a demanda mesmo se o reservatório não tivesse o volume necessário para armazená-la.

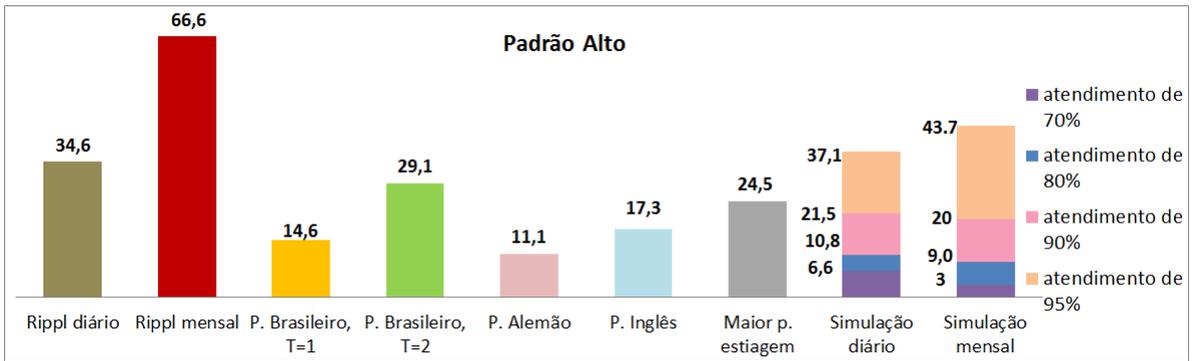
Quando os volumes de reservatórios são mais elevados, tendo capacidade para armazenar a maior parte da chuva captada, os métodos apresentam resultados mais próximos, porém, quando aplicado com valores mensais, resulta em volumes de reservatórios um pouco maiores para a mesma porcentagem de atendimento. Isso se justifica devido ao fato de que o método aplicado com valores mensais considera um volume de chuva único, que enche o reservatório e depois é consumido, gerando uma determinada quantidade de overflow. Já o método da simulação modificado, aplicado com valores diários de precipitação e de consumo, permite que a distribuição da chuva no mês seja considerada, ou seja, o volume de água no reservatório pode ser elevado a cada precipitação, assim, o overflow mensal gerado é reduzido.

Dessa forma, para dimensionamento do reservatório de águas pluviais em residências unifamiliares, o método da simulação modificado aplicado com valores diários de precipitação mostra-se mais eficiente, pois, como o balanço de massa é realizado com as precipitações e consumos de água diários, tem-se uma representação mais fiel da realidade já que as chuvas não ocorrem sempre de forma bem distribuída durante o mês. Além disso, é possível considerar a quantidade de chuva que não gera escoamento, bem como a que é armazenada e dispensada pelo reservatório de auto-limpeza.

Para comparar os valores obtidos com o método da simulação com os obtidos pelos demais métodos, foram ajustadas equações para as curvas e volume do reservatório em função do atendimento, obtidas pelo método da simulação. As comparações entre o método da simulação com valores mensais e diários de precipitação para as demais residências, bem como as equações que foram ajustadas às curvas podem ser observadas no apêndice E. O domínio das equações compreende os pontos circulados indicados no apêndice.

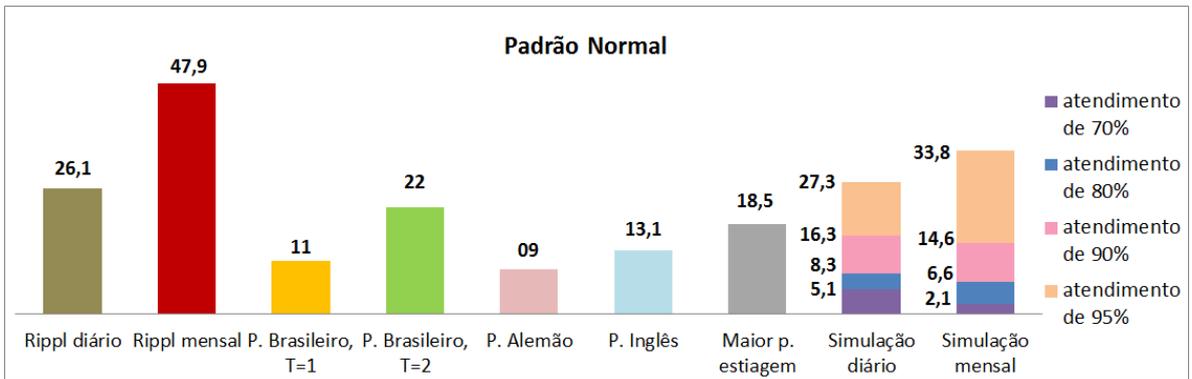
A comparação dos resultados obtidos pelos métodos de dimensionamento do reservatório de águas pluviais aplicados em cada residência pode ser visualizada, de forma gráfica, nas figuras 21 a 23. As residências de padrão alto e normal atingiram um atendimento à demanda superior a 99%, porém para esse atendimento o volume do reservatório necessário seria de mais de 100m³, por esse motivo, para a comparação gráfica dos resultados com os demais métodos foram utilizados atendimentos à demanda até 95%. A residência de padrão baixo apresentou um atendimento máximo de aproximadamente 89% com o método da simulação modificado com valores diários de precipitação e de cerca de 92% com o método da simulação aplicado com valores mensais, assim, para essa comparação, foram utilizados valores de atendimento até 85%.

Figura 21 – Volumes de reservatório para a residência de padrão alto



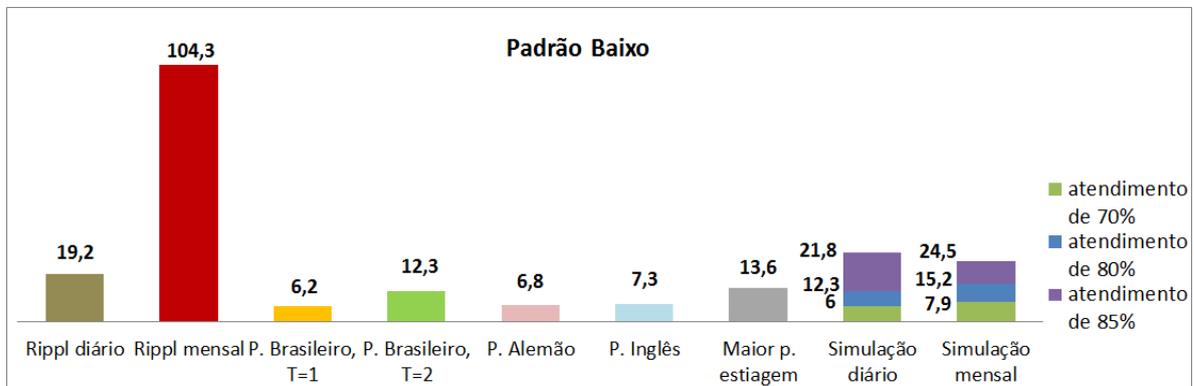
(fonte: elaborado pela autora)

Figura 22 – Volumes de reservatório para residência de padrão normal



(fonte: elaborado pela autora)

Figura 23 – Volumes de reservatório para residência de padrão baixo



(fonte: elaborado pela autora)

Analisando os gráficos nota-se que, de acordo com o método da simulação modificado com valores diários de precipitação, nas residências de padrão alto e normal os métodos de Rippl com valores diários de precipitação, prático brasileiro considerando “T” igual a dois, e maior período de estiagem resultam em valores de reservatório correspondentes a um atendimento à demanda entre 90 e 95%. Os métodos práticos brasileiro considerando “T” igual a um, alemão e inglês apresentam volumes de reservatório correspondentes a um atendimento a demanda entre 80 e 90% e o método de Rippl com valores mensais representa um atendimento superior a 95% e inferior a 99%.

Para a residência de padrão baixo os métodos de Rippl aplicado com valores diários de precipitação, prático brasileiro com “T” igual a dois e o método do maior período de estiagem apresentam um atendimento a demanda entre 80 e 85%. Os métodos práticos brasileiro com “T” igual a um, alemão e inglês representam atendimento de 70 a 80% e o método de Rippl mensal apresenta atendimento maior que 85%.

A redução no atendimento à demanda para a residência de padrão baixo se justifica pelo fato de que a relação entre área de captação e o consumo de água não potável é inferior se comparada à das outras duas residências, como mostra a tabela 31 apresentada no item 9.2.4. Vale salientar que os métodos que apresentam maiores atendimentos à demanda não são, necessariamente mais eficientes. Como podemos observar na figura 22, quando o atendimento à demanda é baixo, basta um pequeno aumento no volume do reservatório para uma grande elevação no valor do atendimento à demanda. Conforme o atendimento aumenta a situação se inverte, ou seja, é necessário um grande acréscimo no volume do reservatório, para uma pequena ampliação no atendimento. Sendo assim, se um método resulta em um grande volume de reservatório com um bom atendimento à demanda, é válido verificar o quanto uma redução nesse volume, que levaria a significativa redução no custo, influencia no atendimento à demanda. Assim, pode-se concluir que o método da simulação é o que fornece mais informações para dimensionamento do reservatório. Sendo aplicado com valores diários e com as modificações sugeridas pelo presente trabalho, o método fornece resultados mais confiáveis para instalação do sistema de aproveitamento de águas pluviais em residências unifamiliares, evitando a construção de um reservatório pequeno, que não apresente um atendimento satisfatório, ou a construção de um reservatório grande e oneroso sem necessidade.

10. PROPOSIÇÃO DE METODOLOGIA SIMPLIFICADA PARA DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Para a elaboração de uma metodologia simplificada para dimensionamento do reservatório para implantação do sistema de aproveitamento da água da chuva em residências unifamiliares, foi utilizado o método da simulação modificado, proposto pelo presente trabalho, aplicado com valores diários de precipitação, já que o mesmo foi identificado como o mais adequado para essa situação. O método foi aplicado como indicado na tabela 33, com os 53 anos de dados de precipitação disponíveis para a cidade de Porto Alegre e, depois com os valores de precipitação da sequência de 5 anos mais seca registrada na cidade. A demanda utilizada foi o consumo de água não potável para uma pessoa. Assim, estabelecendo relações entre os possíveis consumos de água não potável, a metodologia se adequa às características de cada residência. Foram simulados diversos valores de área de telhado bem como de volume de reservatório. A partir dos resultados obtidos, foi possível estabelecer uma relação entre volume necessário do reservatório, área de telhado disponível e atendimento à demanda.

10.1 CÁLCULO DA DEMANDA

Como mencionado, a demanda utilizada para a realização das simulações foi o volume de água não potável consumido por uma pessoa. Esse valor foi calculado com base nas informações apresentadas na tabela 5. Foram consideradas 5 descargas de bacia sanitária por pessoa por dia (valor mais provável da tabela). Para o volume de descarga, foi utilizado o valor de 6,8 litros por descarga, indicado como valor inferior pela tabela 5. Esse valor foi utilizado considerando que, de acordo com Hafner (2007, p. 55) as bacias sanitárias produzidas atualmente no Brasil consomem 6,8 litros de água por descarga, no máximo, como apresentado no item 4.3.2.1. Desse modo a demanda de água não potável é de 0,034m³ por pessoa por dia.

10.2 ESTABELECIMENTO DE RELAÇÕES ENTRE OS CONSUMOS DE ÁGUA NÃO POTÁVEL EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR

Para que a metodologia possa ser aplicada em residências unifamiliares com diferentes características, foram estabelecidas relações entre a quantidade de água não potável consumida por uma pessoa e a consumida por lavagem de carros, rega de jardim e piscina. Como o consumo de água referente à rega de jardins e às perdas por evaporações em piscinas por metro quadrado são muito reduzidos em relação aos demais consumos, foram utilizados, como referência, 10m² para jardim e piscina. A tabela 36 apresenta as relações obtidas.

Tabela 36 – Relação entre o consumo diário de água não potável de uma pessoa e os demais consumos

Tipo de Consumo	Consumo (l/dia)	Relação
1 pessoa	34	1 pessoa
1 carro	20	0,6 pessoas
10m ² de jardim	10	0,6 pessoas
10m ² de piscina	8	0,2 pessoas

(fonte: elaborado pela autora)

10.3 ESTABELECIMENTO DE RELAÇÃO ENTRE VOLUME DO RESERVATÓRIO, PORCENTAGEM DE ATENDIMENTO E ÁREA DE CAPTAÇÃO PARA 53 ANOS DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO

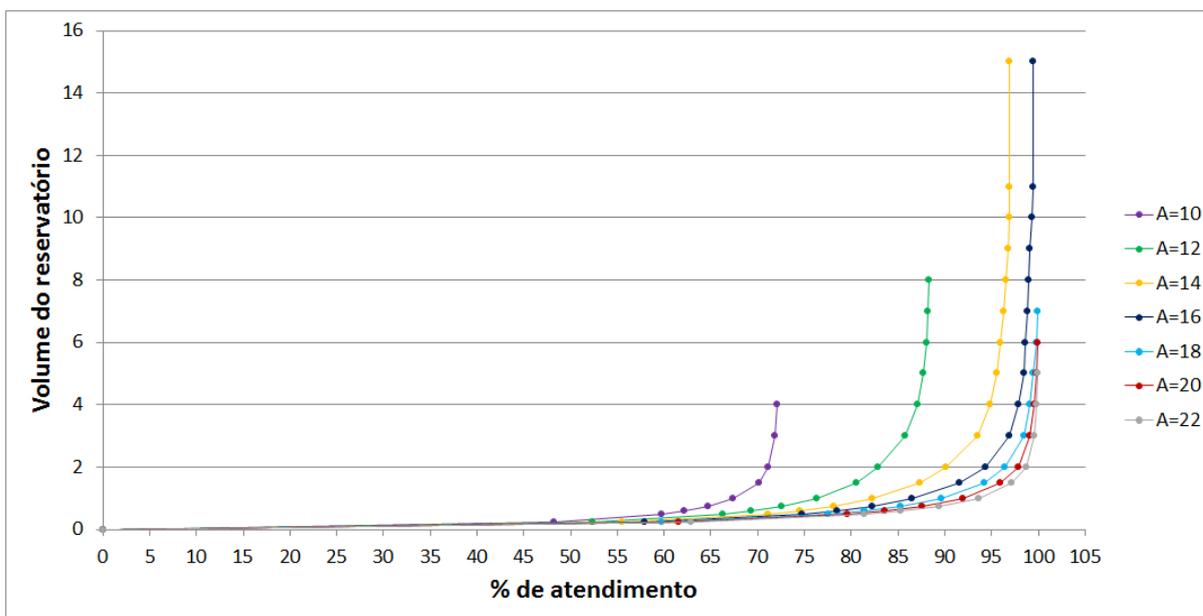
Para as simulações realizadas a partir do método da simulação modificado, foram utilizadas áreas de 10, 12, 14, 16, 18, 20 e 22 m³. Para cada área, foram simulados volumes de reservatório variando de zero até o valor em que se atinge o máximo atendimento à demanda possível. Sendo assim, quando um volume de reservatório resultava em um valor de atendimento igual ao do volume imediatamente anterior, as simulações eram finalizadas para essa área. Entre os volumes de reservatório de zero e 1,5m³, foram utilizados os volumes de: 0, 0,25, 0,5, 0,6, 0,75, 1 e 1,5m³. Entre 2 e 10m³ os valores utilizados variaram de 1 em 1 m³, entre 10 e 20m³ variaram de 5 em 5m³, entre 20 e 100m³, variaram de 10 em 10m³ e, a partir

de 100m^3 os valores variaram de 100 em 100m^3 . Essa diferença na variação dos volumes de reservatório é justificada devido ao fato de que, quanto maior o reservatório, maior é o acréscimo necessário no volume do mesmo para uma variação significativa no atendimento à demanda.

Os resultados obtidos pelas simulações foram plotados em um gráfico (figura 24) que apresenta o volume do reservatório necessário em função da porcentagem de atendimento à demanda para cada área de telhado simulada. O último ponto de cada curva representa a porcentagem limite de atendimento para a área em questão, ou seja, a partir desse ponto qualquer volume maior de reservatório utilizado resultaria no mesmo atendimento. Seria possível, então, extrapolar cada curva com retas verticais a partir do último ponto. A figura 24 também mostra, como era de se esperar, que:

- a) para uma mesma porcentagem de atendimento, o aumento da área de captação implica na possibilidade de reservatórios de menor volume;
- b) para uma mesma área de captação, o aumento no volume do reservatório tem uma influência no aumento do atendimento, mas o mesmo decresce com o aumento do volume do reservatório.
- c) para um mesmo volume de reservatório, o aumento da área de captação tem uma influência no aumento do atendimento, mas o mesmo decresce com o aumento da área de captação.
- d) o volume do reservatório necessário para atingir o atendimento limite de cada área cresce com o aumento da mesma até a área de 14m^2 , ficando com um valor muito próximo para a área de 16m^2 e, depois disso, decresce.

Figura 24 – Volumes de reservatório x porcentagem de atendimento obtidos pelo método da simulação modificado



(fonte: elaborado pela autora)

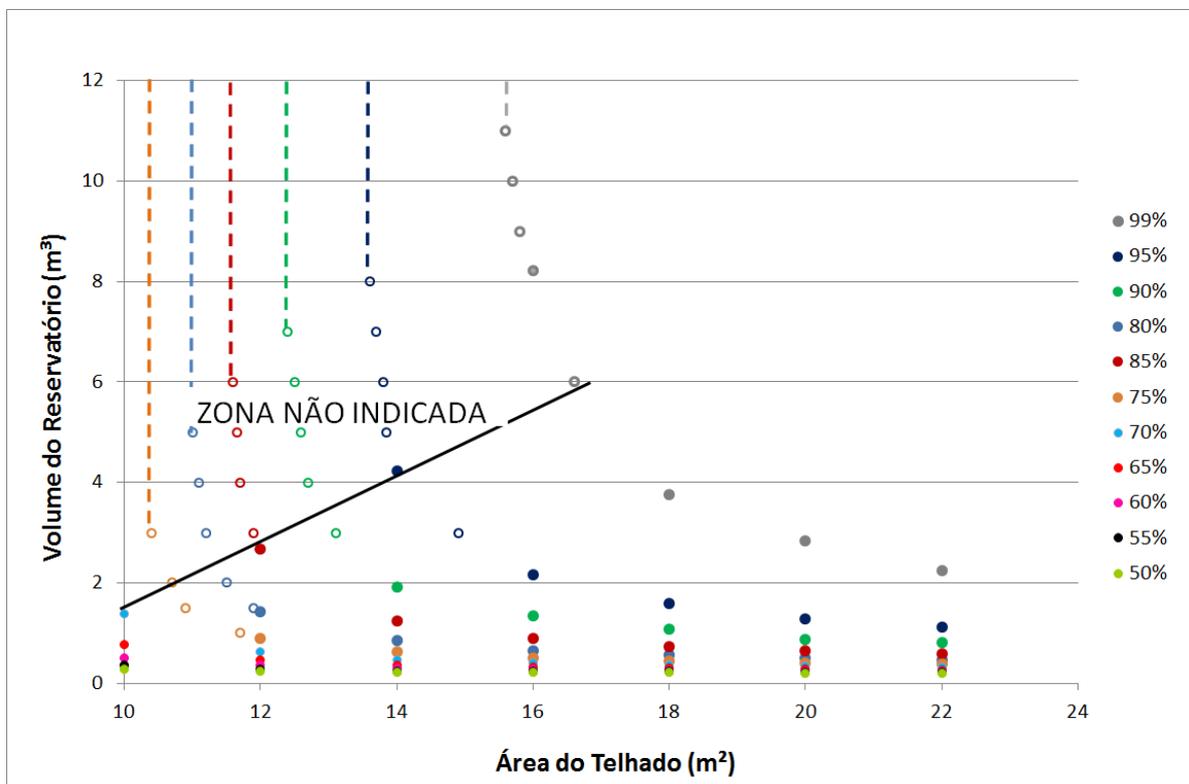
A partir do gráfico apresentado na figura 24, foi elaborado um novo gráfico representando o volume do reservatório em função da área do telhado para diversas porcentagens de atendimento. As porcentagens de atendimento à demanda utilizadas foram de 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 e 99%. Para isso, foram ajustadas equações às curvas de volume de reservatório em função da porcentagem de atendimento apresentadas na figura 24. Devido ao fato de que não foram encontradas equações que se ajustassem às curvas inteiras, as mesmas foram divididas em vários trechos diferentes. As equações que foram ajustadas a cada trecho das curvas podem ser visualizadas no apêndice F, o domínio das equações compreendem os pontos circulados.

Finalizada essa etapa, pôde-se perceber que, como as áreas consideradas variam de 2 em 2m, cada porcentagem de atendimento abrange áreas intermediárias às mesmas. Por exemplo, o atendimento de 80%, pelo gráfico exibido na figura 24, seria alcançado com uma área mínima de 12m² por pessoa, já que com área de 10m² por pessoa, a porcentagem de atendimento máxima alcançada é de aproximadamente 70%. Porém, existem áreas menores que 12m² e superiores a 10m² que alcançam um atendimento de 80%. Essa mesma situação ocorre para vários atendimentos considerados. Assim, com o objetivo de traçar as curvas até a área mínima em que pode ser alcançado o referente atendimento à demanda, as áreas de captação foram interpoladas utilizando interpolação linear. A figura 25 apresenta o gráfico com os

volumes de reservatório em função das áreas de captação. Os pontos preenchidos foram obtidos através das equações e gráficos exibidos no apêndice F. Os pontos apenas contornados foram obtidos através da interpolação das áreas por interpolação linear.

A partir do último ponto de cada curva, a mesma torna-se uma reta (linhas tracejadas). Isso significa que mesmo aumentando o volume do reservatório, com a área de captação considerada, não há modificação na porcentagem de atendimento. Como as curvas foram traçadas até valores altos de volume de reservatório, foi delimitada uma faixa para a aplicação da metodologia simplificada. Essa faixa é representada pelos trechos das curvas localizados na parte inferior da reta e cor preta traçada no gráfico. Acima da reta, é necessário um grande aumento no volume do reservatório para um pequeno acréscimo no atendimento à demanda, situação que não apresentaria vantagens econômicas, de ocupação e de espaço para a cidade de Porto Alegre, já que a mesma não apresenta períodos de seca longos e bem definidos, como é mostrado no item 8.5.

Figura 25 – Volumes de reservatório x área do telhado obtidos pelo método da simulação modificado



(fonte: elaborado pela autora)

10.4 AJUSTE DE EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DO VOLUME IDEAL DO RESERVATÓRIO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA 53 ANOS DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Foram ajustadas equações para os trechos das curvas abaixo da reta de cor preta apresentadas no gráfico da figura 25. As mesmas podem ser visualizadas no apêndice G. As equações ajustadas foram todas do formato apresentado na equação 11. Assim, com o objetivo de elaborar uma única equação que possa ser aplicada para todos os atendimentos considerados, as constantes a e b foram plotadas em função do atendimento e , também foram ajustadas curvas para as mesmas. A figura 26 apresenta os ajustes feitos para as constantes a e b .

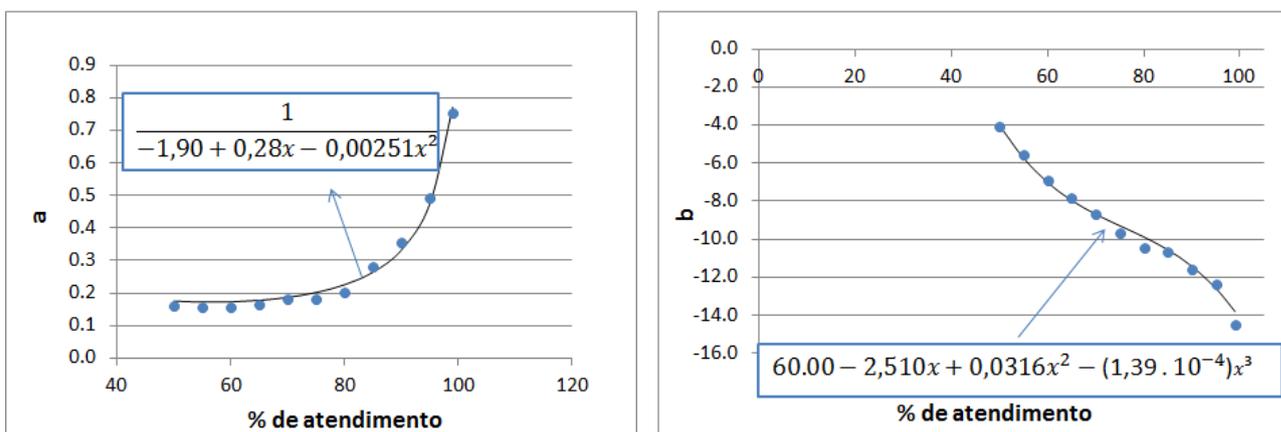
$$y = (a \cdot x) / (b + x) \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

a e b = constantes;

x = eixo que representa a área de captação (m^2).

Figura 26 – Ajustes para as curvas formadas pelas constantes a e b



(fonte: elaborado pela autora)

Como x , na equação 11, representa a área de captação (A), e as constantes a e b são função da porcentagem de atendimento (p), as equações 12, 13 e 14 podem ser aplicadas para a faixa determinada no presente trabalho.

$$V = (a \cdot A) / (b + A) \quad (\text{equação 12})$$

$$a = (1 / (-1,90 + 0,28 \cdot p - 0,003 \cdot p^2)) \quad (\text{equação 13})$$

$$b = 60,00 + 2,510 \cdot p + 0,0316 \cdot p^2 + (1,39 \times 10^{-4}) \cdot p^3 \quad (\text{equação 14})$$

Onde:

V = volume do reservatório (m³);

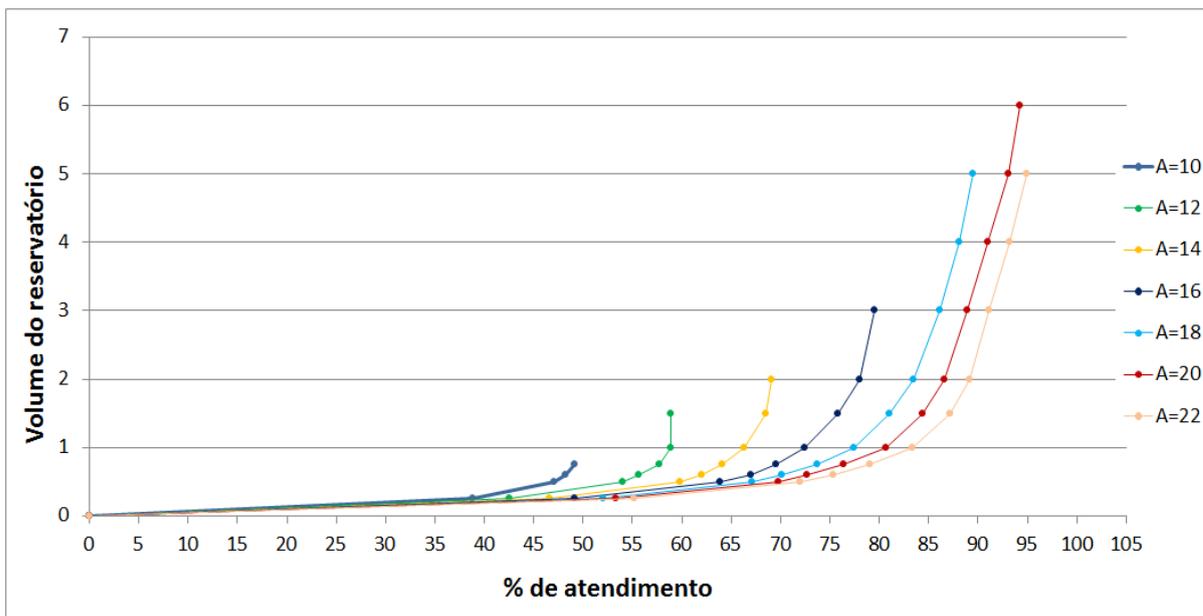
A = área de captação (m²);

p = atendimento à demanda (%).

10.5 ESTABELECIMENTO DE RELAÇÃO ENTRE VOLUME DO RESERVATÓRIO, PORCENTAGEM DE ATENDIMENTO E ÁREA DE CAPTAÇÃO PARA OS 5 ANOS MAIS SECOS

Procedimento semelhante ao aplicado para os 53 anos de dados de precipitação disponíveis para a cidade (apresentado no item 10.3), foi aplicado, agora, com a sequência de 5 anos mais seca registrada (do ano de 1978 a 1982). A figura 27 apresenta os volumes de reservatório em função da porcentagem de atendimento obtidos pelo método da simulação modificado aplicado com a sequência de 5 anos mais seca.

Figura 27 – Volumes de reservatório x porcentagem de atendimento obtidos pelo método da simulação modificado



(fonte: elaborado pela autora)

As curvas presentes no gráfico da figura anterior, assim como para as curvas presentes no gráfico exibido na figura 24, podem ser extrapoladas com retas verticais, já que a partir do último ponto das mesmas, o aumento no volume do reservatório não gera aumento no atendimento à demanda.

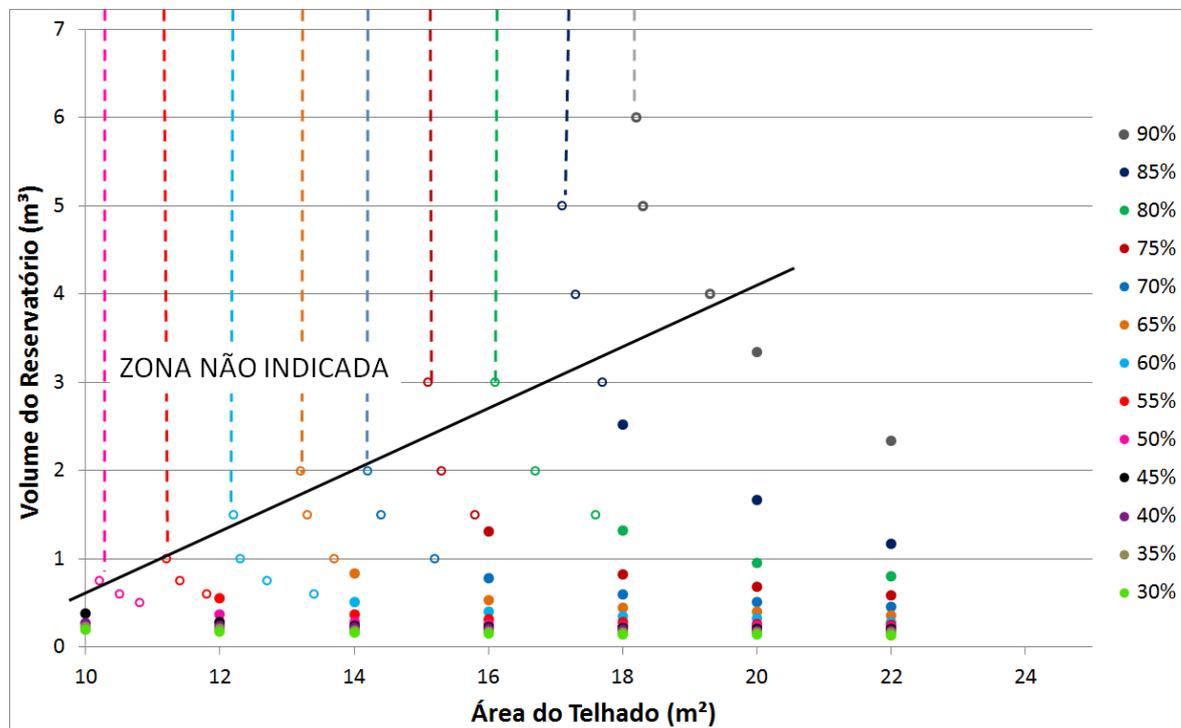
Pode-se notar que, as curvas geradas com a aplicação do método da simulação simplificado aplicado com a sequência de 5 anos de menor precipitação, apresentadas na figura 27, têm comportamento semelhante às curvas geradas com o mesmo método aplicado com os 53 anos de dados de precipitação disponíveis. Porém, como era esperado, as curvas obtidas com o método aplicado com a sequência de 5 anos mais seca, apresentaram atendimentos à demanda bem menores, considerando a mesma área de captação e o mesmo volume de reservatório, por exemplo, os atendimentos de 99 e 95% não são alcançados com nenhuma área de captação e nenhum volume de reservatório analisados.

Nota-se, também, que o volume do reservatório necessário para atingir o atendimento limite de cada área cresce com o aumento da mesma até a área de 20m², e depois disso, decresce até a área de 22m², enquanto na figura 26, foi observado que esse valor decresce a partir da área de 16m².

A partir do gráfico apresentado na figura 27, também foi elaborado um novo gráfico representando volume do reservatório em função da área do telhado, para os atendimentos de 90 a 30% variando de 5 em 5 %. Foram plotadas curvas até um atendimento tão baixo, como o de 30%, considerando que há uma significativa redução no atendimento à demanda quando são utilizadas as precipitações dos 5 anos mais secos. As equações que foram ajustadas a cada trecho das curvas podem ser visualizadas no apêndice H, o domínio das equações compreendem os pontos circulados. A figura 28 apresenta o gráfico com os volumes de reservatório em função das áreas de captação obtidas. Os pontos preenchidos foram obtidos através das equações e gráficos exibidos no apêndice F. Os pontos apenas contornados foram obtidos através da interpolação das áreas por interpolação linear.

Da mesma forma que as curvas da figura 25, a partir do último ponto de cada curva, a mesma torna-se uma reta (linhas tracejadas). A faixa delimitada para a aplicação da metodologia está localizada abaixo da reta traçada em cor preta.

Figura 28 – Volumes de reservatório x área do telhado obtidos pelo método da simulação modificado com a sequência de 5 anos mais seca

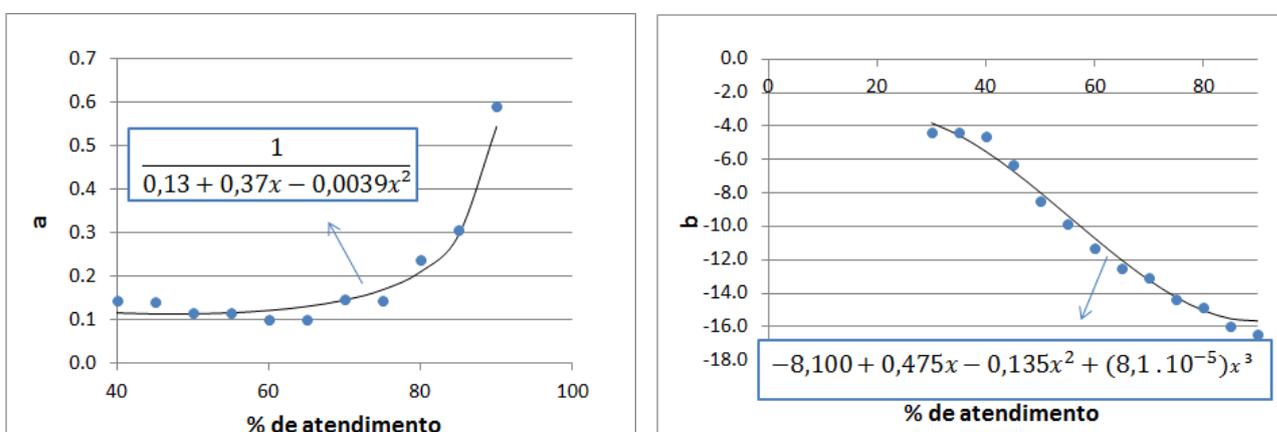


(fonte: elaborado pela autora)

10.5 AJUSTE DE EQUAÇÃO PARA CÁLCULO DO VOLUME IDEAL DO RESERVATÓRIO DE ÁGUAS PLUVIAIS PARA OS 5 ANOS MAIS SECOS

As equações ajustadas para os trechos das curvas abaixo da reta de cor preta exibidas no gráfico da figura 30 são do mesmo formato apresentado na equação 11 e podem ser visualizadas no apêndice I. As equações ajustadas para as curvas obtidas pelas constantes a e b em função do atendimento estão expostas na figura 29.

Figura 29 – Ajustes para as curvas formadas pelas constantes a e b para o método aplicado com a sequência de 5 anos mais seca



(fonte: elaborado pela autora)

Como x , na equação 11, representa a área de captação (A), e as constantes a e b são função da porcentagem de atendimento (p), as equações 12, 15 e 16 podem ser aplicadas para a faixa determinada no presente trabalho.

$$V = (a \cdot A) / (b + A) \quad (\text{equação 12})$$

$$a = (1 / (0,13 + 0,37 \cdot p - 0,0039 \cdot p^2)) \quad (\text{equação 15})$$

(equação 16)

$$b = -8,100 + 0,475 \cdot p - 0,135 \cdot p^2 + 8,1 \times 10^{-5} \cdot p^3$$

Onde:

V = volume do reservatório (m³);

A = área de captação (m²);

p = atendimento à demanda (%).

11. APLICAÇÃO NAS RESIDÊNCIAS SELECIONADAS

A metodologia apresentada no capítulo 10, foi aplicada nas três residências selecionadas, de padrão alto, normal e baixo. A tabela 37 apresenta as características das residências necessárias para o cálculo do volume do reservatório. O número total de pessoas corresponde ao número de moradores da residência somado ao número de pessoas equivalente aos demais consumos (rega de jardim e lavagem de carro), obtidos pela tabela 36. Esse valor ainda foi multiplicado por 1,1, de forma a considerar possíveis perdas. A área por pessoa foi obtida dividindo a área de captação pelo número total de pessoas.

A partir das equações 12, 15 e 14, foram calculados os volumes de reservatórios, considerando os 53 anos de dados de precipitação, para os atendimentos de 95, 90, 80, 70 e 60%. Não foram calculados para 99% já que o reservatório deveria ter um volume de mais de 100m³, como visto no item 9.3. Também não foram calculados os volumes para atendimentos inferiores a 60%, já que seria um atendimento muito baixo e pouco eficiente. No entanto é válido salientar que as equações são válidas para porcentagens de 99% até 50% para a região apresentada na figura 27. O mesmo procedimento foi realizado com as equações 12, 15 e 14, para cálculo dos volumes do reservatório considerando a sequência de 5 anos de menor precipitação. Porém, para isso, foram utilizados os atendimentos de 75, 70, 65, 60, 55 e 50%, devido a, nessa situação, as residências estudadas não apresentarem possibilidade de maior atendimento. A tabela 38 apresenta os volumes de reservatório obtidos com a metodologia simplificada considerando os 53 anos de dados em comparação aos obtidos através da aplicação do método da simulação modificado. A tabela 39 apresenta os resultados obtidos com a metodologia simplificada considerando a sequência de 5 anos de menor precipitação.

Tabela 37 – Características das residências necessárias ao cálculo do volume do reservatório

Residências	Área (m ²)	Pessoas	Carros	Jardim	Nº total de pessoas	Área/Pessoa (m ² /pessoa)
Padrão alto	260	12	2	32,7	16,7	15,6
Padrão normal	196	7	1	64,6	12,6	15,5
Padrão baixo	110	5	1	46,6	9,2	11,9

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela 38 – Comparação entre volumes de reservatório obtidos com o método da simulação modificado e com o método simplificado com 53 anos de dados (m³)

Residência	Método	Atendimento (%)				
		95	90	80	70	60
Padrão Alto	Simulação modificado	37,1	21,5	10,8	6,6	4,3
	Simplificado (53anos)	38,3	19	10,4	6,9	4,9
Padrão Normal	Simulação modificado	27,3	16,3	8,3	5,1	3,7
	Simplifica (53 anos)	29,5	14,5	7,9	5,12	3,7
Padrão Baixo	Simulação modificado	-	-	12,3	6,0	3,5
	Simplificado (53 anos)	-	-	14,8	6,5	3,5

(fonte: elaborado pela autora)

Tabela39 – Volume de reservatório por falha admitida para cada residência selecionada para 5 anos mais secos(m³)

Residências	Atendimento					
	75%	70%	65%	60%	55%	50%
Padrão alto	23,5	12,5	8	6	4,5	4
Padrão normal	18,5	10	6	4,5	3,5	3
Padrão baixo	-	-	-	-	4,9	3

(fonte: elaborado pela autora)

Observando a tabela 38, pode-se notar que existe uma diferença nos valores de reservatório obtidos através do método da simulação modificado e do método simplificado considerando os mesmos dados de precipitação e essa diferença cresce proporcionalmente com o atendimento à demanda. Porém, o erro associado ao método simplificado não é significativo considerando que a diferença, causada pelo mesmo, no atendimento a demanda é pequeno. Por exemplo na residência de padrão normal, para um atendimento de 90%, segundo o método da simulação modificado, o volume do reservatório deve ser de 16,3 m³, porém, aplicando o método simplificado, o volume do reservatório resultante foi de 14,5m³. Voltando aos resultados do método da simulação modificado e utilizando um volume de reservatório de 14,5m³, obtém-se um atendimento a demanda de 88,2%, ou seja, uma diferença de apenas 1,8%.

Comparando os resultados apresentados nas tabelas 38 e 39, pode-se notar como o atendimento à demanda é bruscamente reduzido quando se considera apenas a sequência de 5 anos de menor precipitação. Considerando os 53 anos de dados, as residências de padrão alto e normal, atingem um atendimento à demanda de até 95%, mas com reservatórios grandes. A residência de padrão baixo pode alcançar um atendimento de 80%. Já, considerando os dados de precipitação da sequência de 5 anos mais secos, as residências de padrão alto e normal atingem um atendimento máximo à demanda de 75% e, para a residência de padrão baixo, esse valor cai para 55%.

Vale salientar que as equações 12 a 16, devem ser utilizadas em conjunto com os gráficos apresentados nas figuras 25 e 28, já que as equações fornecem resultados de volume de reservatório para áreas e atendimentos a demanda que não estão na área de abrangência do gráfico.

Considerando a instalação do reservatório na residência, o volume ideal dependerá da necessidade de atendimento a demanda e da limitação do espaço físico. Como a cidade de Porto Alegre não sofre com períodos secos longos e bem definidos e possui água potável disponível na rede de abastecimento público, a construção de um reservatório muito grande não é necessária. Sendo assim, para a residência de padrão alto, utilizando um reservatório de aproximadamente 11m³, pode-se chegar a aproximadamente 80% de atendimento, em média. Se não houver espaço físico para isso, pode-se utilizar um reservatório de cerca de 7m³ e obter aproximadamente 70% de atendimento. Para a residência de padrão normal, com um

reservatório de cerca de 8m^3 , pode ser atingido um atendimento médio de 80%. e, para a residência de padrão baixo, com um reservatório um pouco maior (aproximadamente 12m^3) também pode-se obter um atendimento médio de 80%. Nesse caso, se o espaço físico não for suficiente, pode-se optar por um reservatório de cerca de 6m^3 para um atendimento médio de aproximadamente 70%.

Os reservatórios para armazenamento da água da chuva podem ser construídos de acordo com o volume requerido, ou podem ser instalados reservatórios pré-fabricados. Alguns volumes disponíveis no mercado são: 5, 7,5, 10, 15 e 20m^3 . Se, na residência de padrão alto, se optar pela implantação de um reservatório de 10m^3 , o atendimento será, na média em torno de 79%. Se na residência de padrão normal a opção for por um reservatório de volume comercial de $7,5\text{m}^3$ o atendimento fica, na média cerca de 78%. E, se na residência de padrão baixo, a escolha for de um reservatório de 10m^3 , o atendimento médio é de aproximadamente 78%

12. CONCLUSÕES

A escassez da água na terra está diretamente associada à má distribuição da mesma no planeta, à população que se estabelece, em sua maior parte, em locais com pequena disponibilidade de água e à poluição que é lançada, sem tratamento, aos mananciais. Diante disso, o aproveitamento de águas pluviais é uma medida que pode contribuir com o combate à escassez da água e às enchentes e com a redução da poluição dos mananciais.

O item do sistema de aproveitamento da água da chuva que requer maior cuidado em seu dimensionamento é o reservatório, pois o atendimento à demanda está associado a seu volume. Tendo como objetivo a verificação das falhas associadas ao volume do reservatório ideal a ser instalado em três residências, de diferentes padrões, localizadas em Porto Alegre no Rio Grande do Sul, foi realizada a aplicação e análise dos métodos de dimensionamento do reservatório presentes na NBR15527/07, nas três residências selecionadas. Pôde-se concluir que o método mais indicado para dimensionamento do reservatório é o método da simulação pois fornece volumes de reservatórios associados a porcentagens de atendimento. O método, aplicado com valores diários e considerando que, primeiramente a água enche o reservatório para depois suprir a demanda, fornece resultados mais precisos e confiáveis.

Sendo assim, optou-se por utilizar o método da simulação modificado para elaboração de uma metodologia simplificada para dimensionamento do reservatório. Para isso o reservatório foi considerado vazio no início das simulações. Durante a elaboração da metodologia, pode-se constatar que, como era esperado, o aumento do volume do reservatório proporciona um aumento no atendimento à demanda, porém este último decresce conforme os volumes do reservatório aumentam até um ponto em que, o acréscimo no volume do reservatório não eleva a capacidade de atendimento à demanda. Pode-se constatar, também, que o aumento da área de captação também influencia no atendimento e que, essa influência é reduzida conforme as áreas aumentam. Para cada porcentagem de atendimento considerada existe uma área mínima de captação que deve estar disponível.

A metodologia simplificada foi desenvolvida, primeiramente, considerando os 53 anos de dados disponíveis para a cidade de Porto Alegre e, posteriormente, para verificar o

atendimento à demanda em períodos mais críticos, a mesma foi desenvolvida considerando a sequência de cinco anos de menor precipitação.

Ao aplicar a metodologia desenvolvida a partir da precipitação dos 53 anos de dados disponíveis, deve-se ter consciência de que, para os volumes de reservatório obtidos, as falhas serão, em média o valor considerado. Isso significa que, considerando que os dados históricos de precipitação são representativos para condições futuras, nos próximos 53 anos, ocorrerá, aproximadamente, a quantidade de falhas associada ao volume do reservatório resultante da metodologia. Ou seja, em anos mais secos as falhas serão maiores, enquanto que, em anos mais úmidos, as falhas serão menores. Essa situação pode ser observada no emprego da metodologia aplicada a partir dos dados de precipitação da sequência de 5 anos mais secos registrada (item 11), em que o atendimento à demanda foi bruscamente reduzido. Logo, se houver necessidade de um controle mais rígido do atendimento à demanda, é recomendada a aplicação do método da simulação modificado, proposto no presente trabalho, com os dados de precipitação adequados à cada situação (uso do ano ou mês mais seco, etc.).

É válido salientar que a metodologia simplificada elaborada com os 5 anos mais secos também foi realizada considerando o reservatório vazio no início das simulações, como seria o caso mais crítico. Assim, se o reservatório não estiver vazio no início da sequência de 5 anos de menor precipitação, as falhas serão um pouco reduzidas.

Tendo posse dos volumes de reservatório e do atendimento à demanda associado aos mesmos, o volume ideal do reservatório a ser instalado em cada residência depende da necessidade de atendimento à demanda e do espaço físico disponível. Como a cidade de Porto Alegre não sofre com períodos secos, longos e bem definidos e possui água potável disponível na rede de abastecimento público, a construção de um reservatório muito grande torna-se desnecessária. Para a residência de padrão alto, pode-se construir um reservatório de 11m³, e obter um atendimento aproximado de 80%. Na impossibilidade de instalar um reservatório com esse tamanho, um reservatório de 7m³ proporciona um atendimento médio de 70%. Na residência de padrão normal, um reservatório de cerca de 8m³, levaria a um atendimento médio de 80%. Para a residência de padrão baixo, para um atendimento aproximado de 80% pode-se construir um reservatório de cerca de 12m³. Nesse caso, se isso não for possível, um reservatório de cerca de 6m³ permite um atendimento médio de aproximadamente 70%.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE PESQUISA. **Critério de classificação econômica Brasil**. São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 5626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 12721**: avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edilícios. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15527**: água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JUNIOR, G. de A. **Instalações hidráulicas prediais feitas para durar**. São Paulo: Pro Editores, 1998.

BRASIL. Presidência da República. Secretaria de Assuntos Estratégicos. **Comissão para definição da classe média no Brasil**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <<http://www.sae.gov.br/site/wp-content/uploads/Relatório-Definição-da-Classe-Média-no-Brasil1.pdf>>

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P. C. S. In: MANCUSO, P. C. S.; HILTON, F. dos S. (Ed.). **Reúso de água**. São Paulo: Manole, 2003. p. 1-576.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9., 2008, Salvador. **Anais eletrônicos...** Salvador: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2008. p. 1-16. Disponível em: <http://teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art74.pdf>. Acesso em: 2 set. 2013.

COSTA, R. H. P. G. Água: matéria-prima primordial à vida. In: TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. (coord.). **Reúso da água**: conceitos, teorias e práticas. 2. ed. rev. atual. e ampl. São Paulo: Blucher, 2010a. p. 1-11.

_____. Reúso. In: TELLES, D. D.; COSTA, R. H. P. G. (coord.). **Reúso da água**: conceitos, teorias e práticas. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010b. p. 153-207.

DORNELLES, F. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 2012. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FENDRICH, R. **Manual de utilização das águas pluviais**: 100 maneiras práticas. 2.ed. ampl. Curitiba, 2009.

FIORI, S.; FERNANDES, V. M. C.; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 19-30, jan./mar. 2006. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/download/3676/2042>>. Acesso em: 2 set. 2013.

HAFNER, A. V. **Conservação e reúso de água em edificações**: experiências nacionais e internacionais. 2007. 161f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

HESPANHOL, I. Potencial de Reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, São Paulo, v. 7, n. 4, p. 75-95, out./dez. 2002.

JABUR, A. S.; BENETTI, H. P.; SILIPRANDI, E. M. Aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 7., 2011, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: [s. n.], 2011. p. 1-13. Disponível em: <http://www.excelenciaemgestao.org/portals/2/documents/cneg7/anais/t11_0353_2014.pdf>. Acesso em: 28 mai. 2014.

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

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, L. H. de; ILHA, M. S. de O.; GONÇALVES, O. M.; YWASHIMA, L.; REIS, R. P. A. **Levantamento do estado da arte**: água. São Paulo: USP; Unicamp; UFG; UFSC; UFU, 2007. Projeto Tecnologias para Construção Habitacional mais Sustentável. Projeto Finep 2386/04. Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/img/meioambiente/15.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2013.

PORTO ALEGRE. Departamento Municipal de Água e Esgotos. **Decreto n. 9369/88**, de 03 de março de 2004. Regulamenta a Lei Complementar n. 170, de 31 de dezembro de 1987, alterada pela Lei Complementar n. 180, de 18 de agosto de 1988 que estabelece normas para instalações hidrossanitárias e serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário prestados pelo Departamento Municipal de Água e Esgotos. Porto Alegre, 2004. Disponível em: <http://proweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/cip9369-decreto.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2014

REBOUÇAS, A. da C. Água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B. ; TUNDISI, J. G. (org.). **Águas Doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. rev.e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006. p. 1-747.

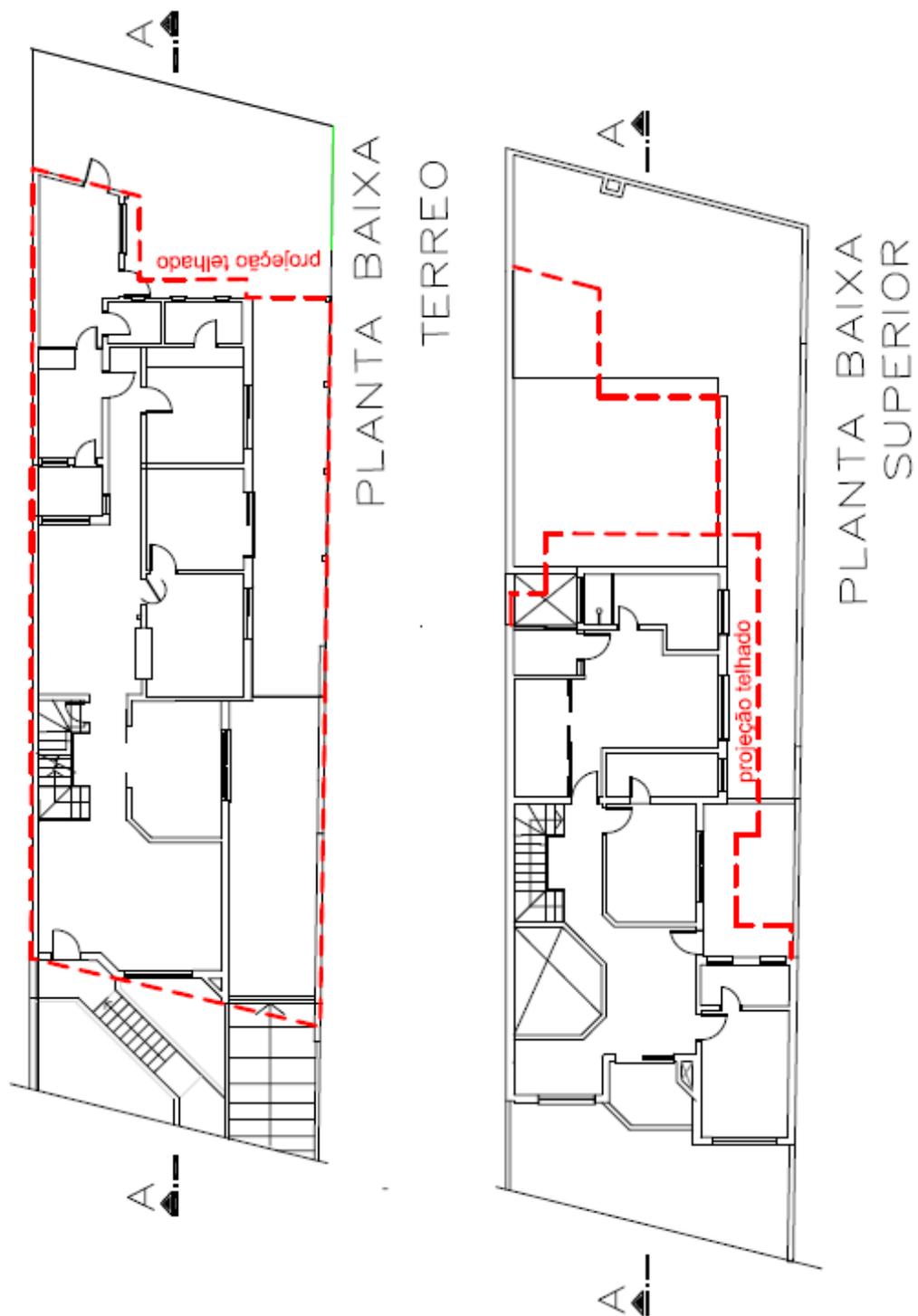
SILVA, L. F. S. da. **Aproveitamento de águas pluviais**: ferramentas para tomadas de decisões em projetos. 2012. 121 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

SPERANCETTA, D.; ALVES, J. V.; KRÜGER, C. M. Captação de águas pluviais para abastecimento residencial. **da Vinci**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 29-42, 2004. Disponível em: <<http://www.up.com.br/davinci/pdf02.pdf>>. Acesso em: 2 set. 2013.

TOMAZ, P. **Água de chuva**: aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2005.

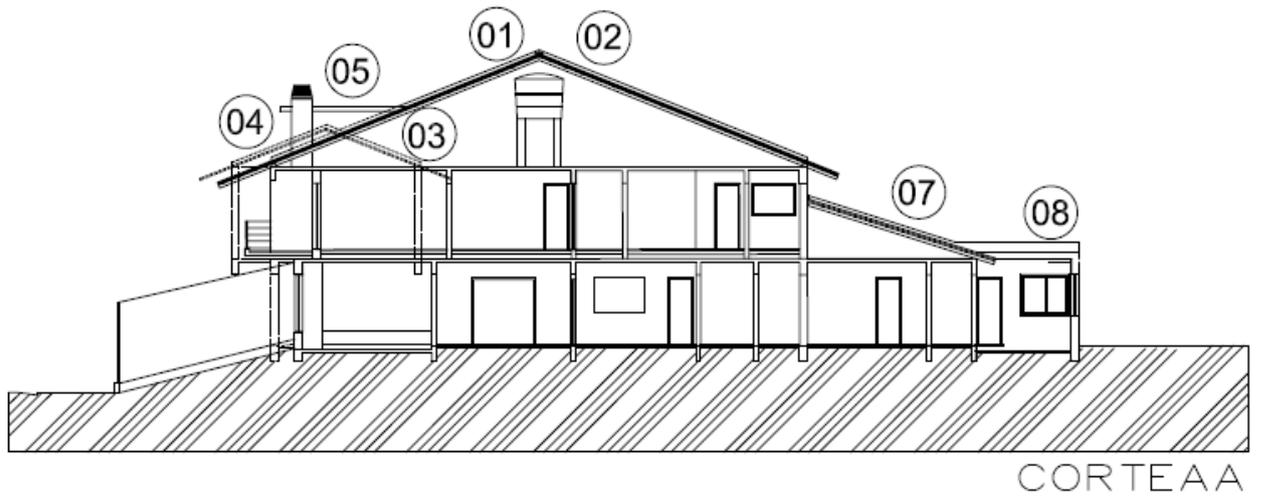
**APÊNDICE A – Cálculo da área do telhado da residência de padrão alto
(elaborado pela autora)**

AP-A1 – Planta baixa da residência de padrão alto



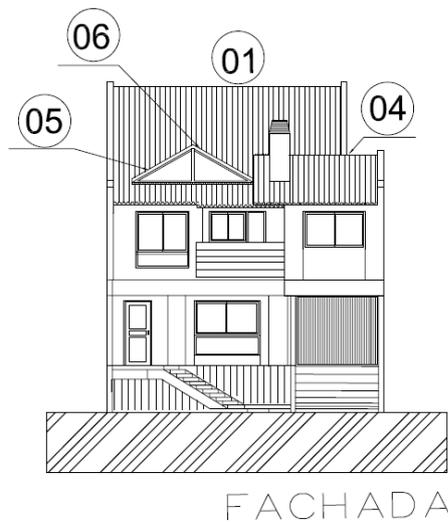
(fonte: adaptado de trabalho não publicado)

AP-A2 – Corte AA da residência de padrão alto



(fonte: adaptado de trabalho não publicado)

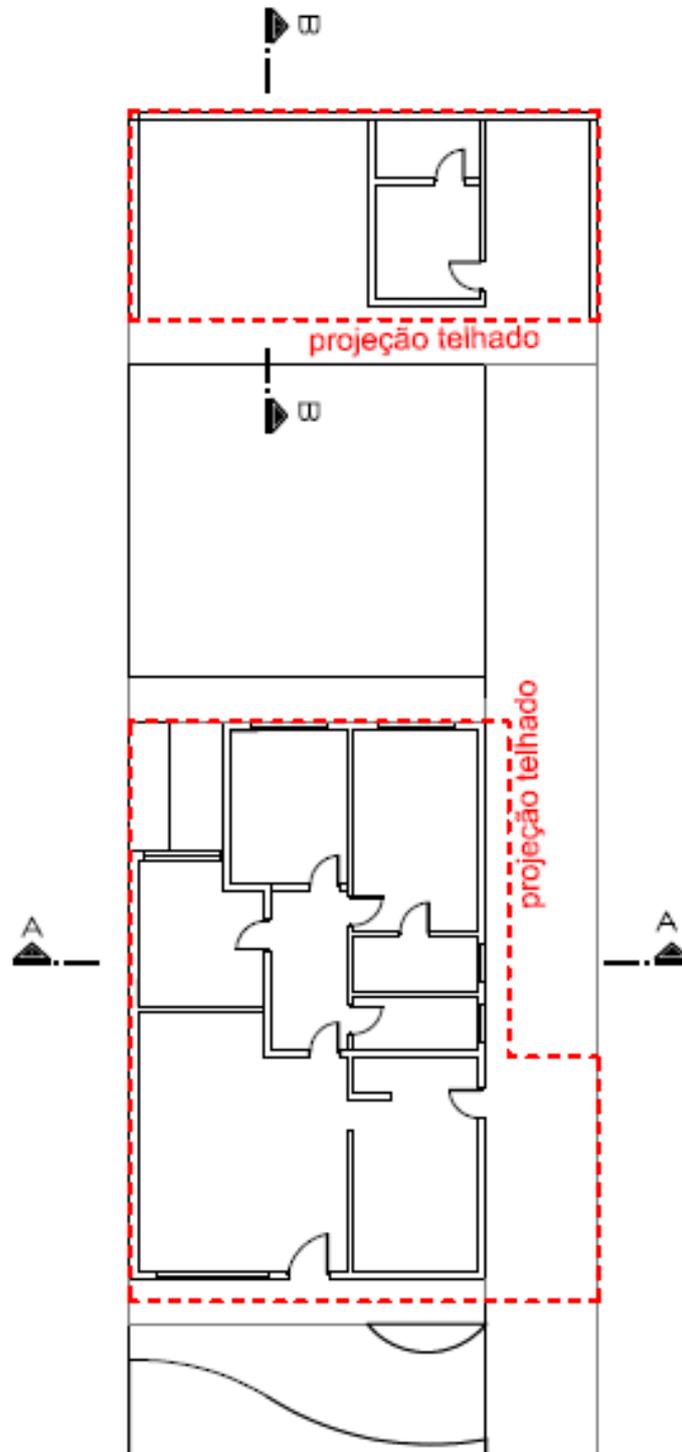
AP-A3 – Fachada da residência de padrão alto



(fonte: adaptado de trabalho não publicado)

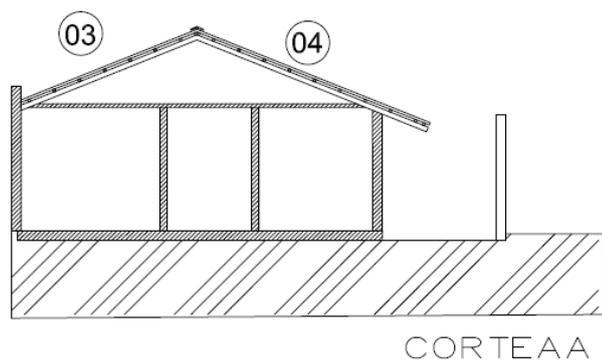
**APÊNDICE B – Cálculo da área do telhado da residência de padrão normal
(elaborado pela autora)**

AP-B1 – Planta baixa da residência de padrão médio



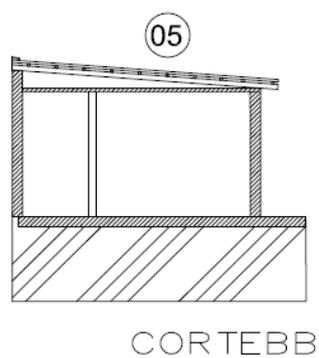
(fonte: elaborado pela autora)

AP-B2 – Corte AA da residência de padrão médio



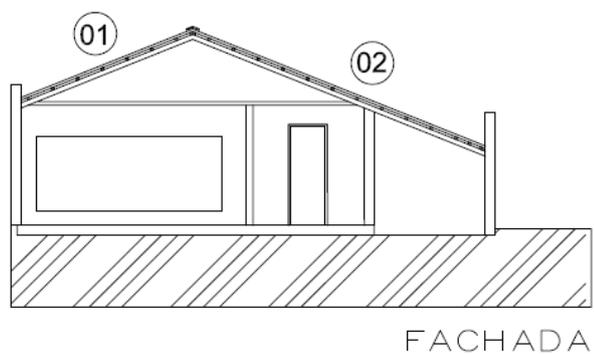
(fonte: elaborado pela autora)

AP-B3 – Corte BB da residência de padrão médio



(fonte: elaborado pela autora)

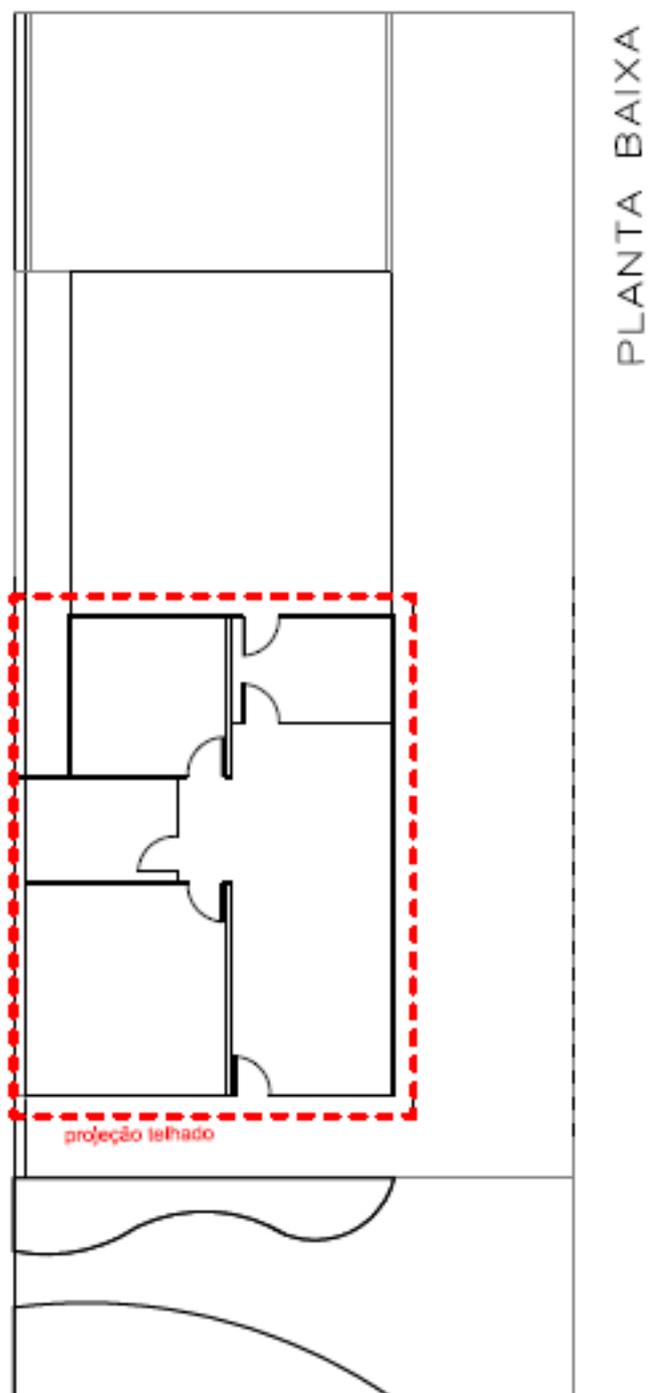
AP-B4 – Fachada da residência de padrão médio



(fonte: elaborado pela autora)

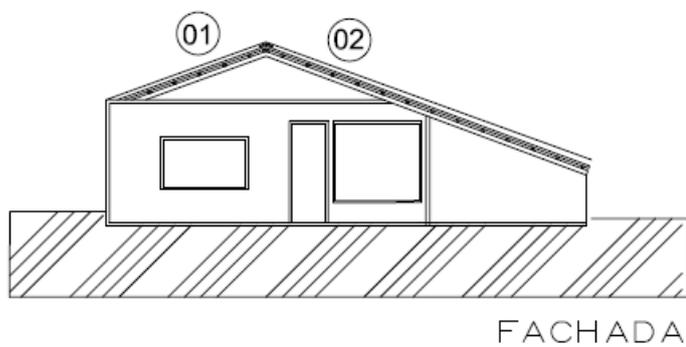
**APÊNDICE C – Cálculo da área do telhado da residência de padrão baixo
(elaborado pela autora)**

AP-C1 – Planta baixa da residência de padrão baixo



(fonte: elaborado pela autora)

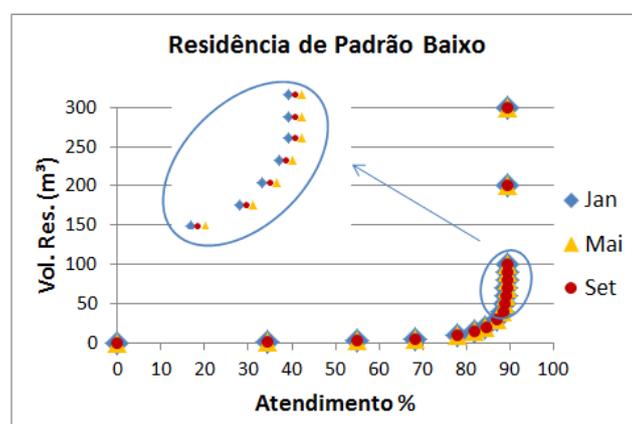
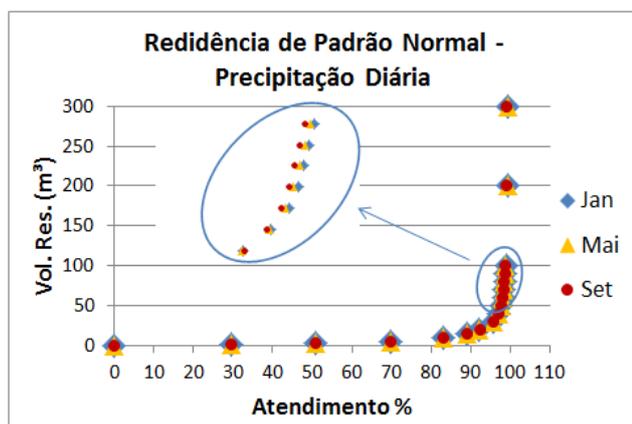
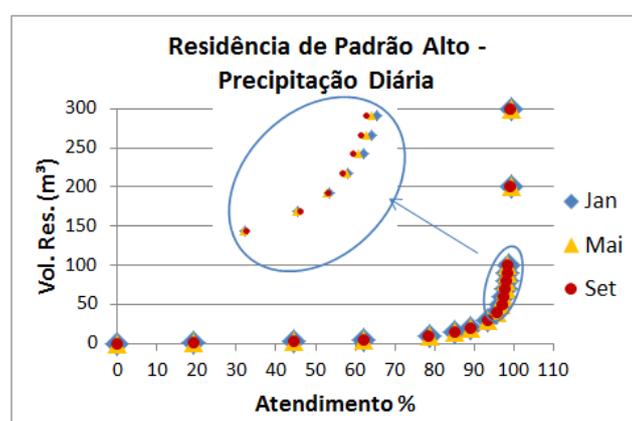
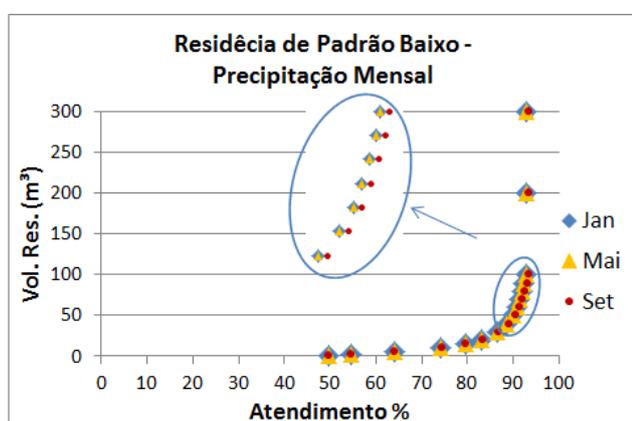
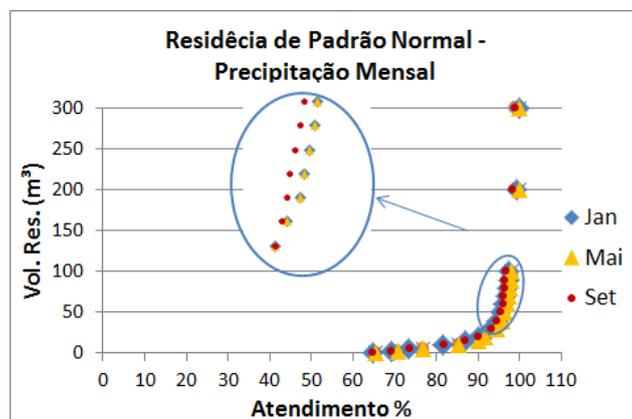
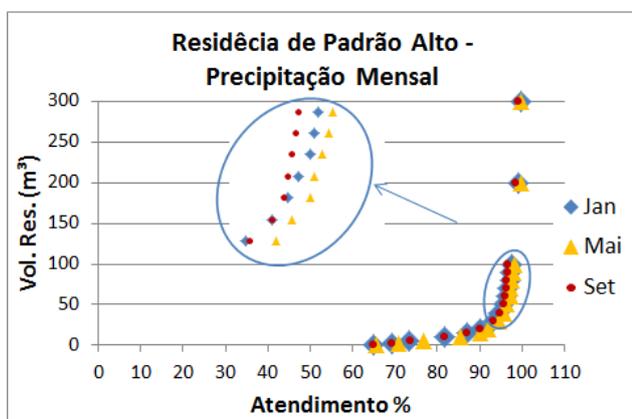
AP-C2 – Fachada da residência de padrão baixo



(fonte: elaborado pela autora)

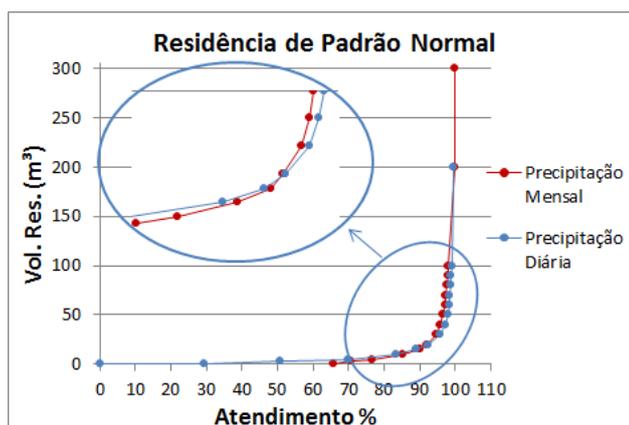
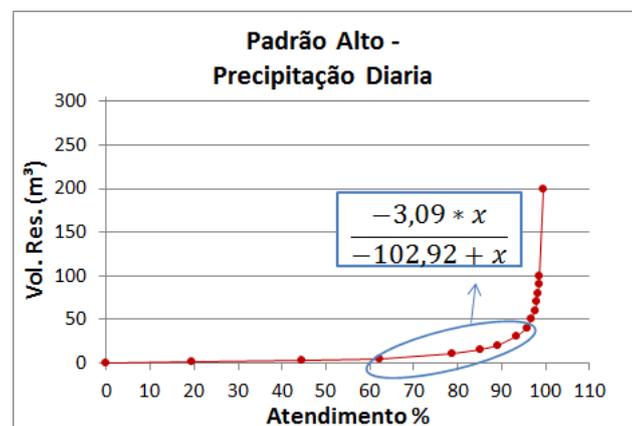
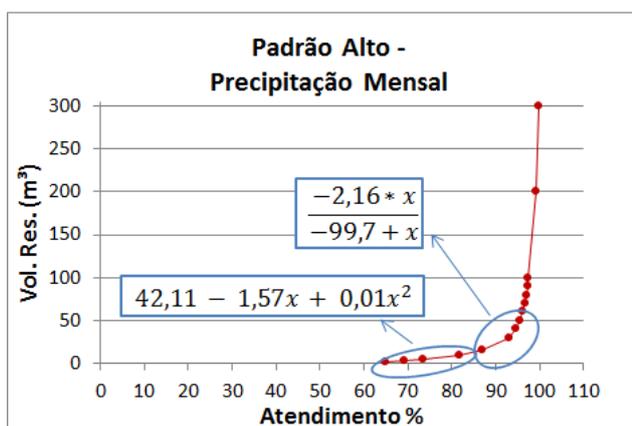
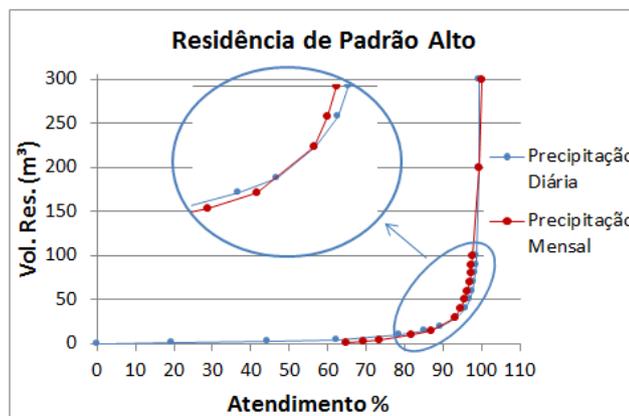
**APÊNDICE D – Resultados de atendimento à demanda por volume de
reservatório
(elaborado pela autora)**

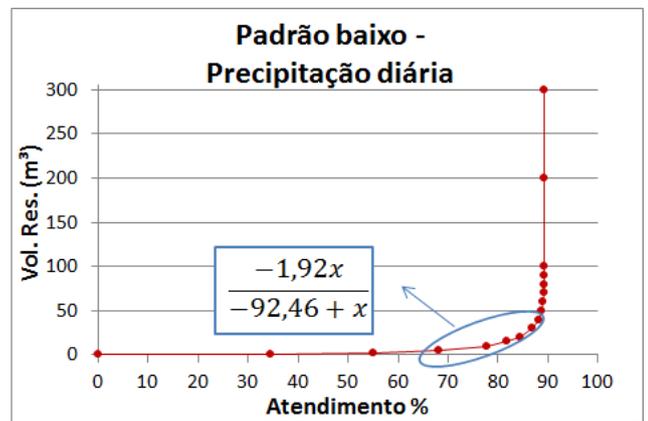
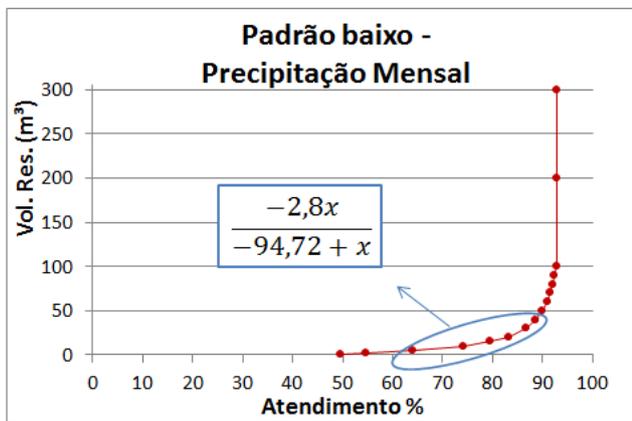
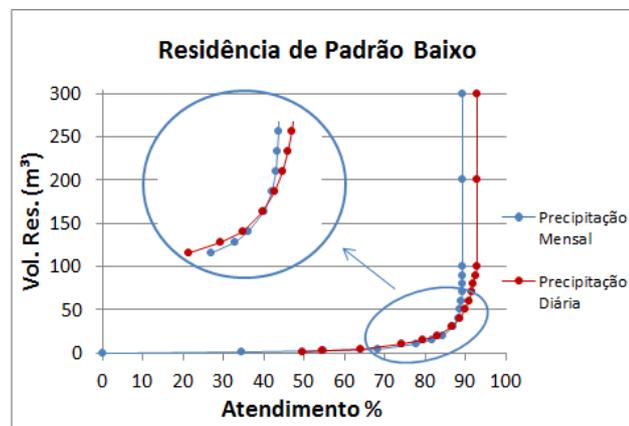
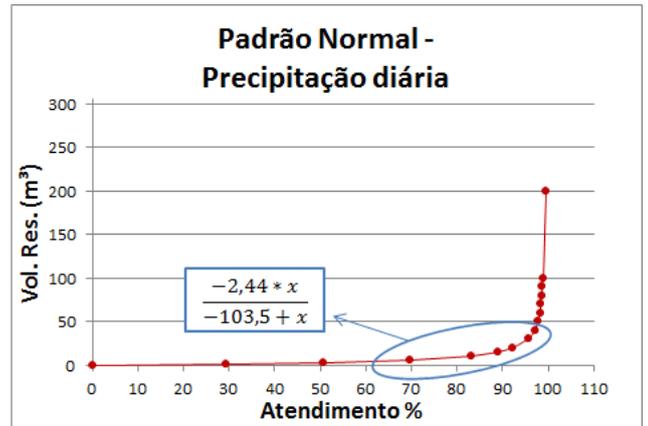
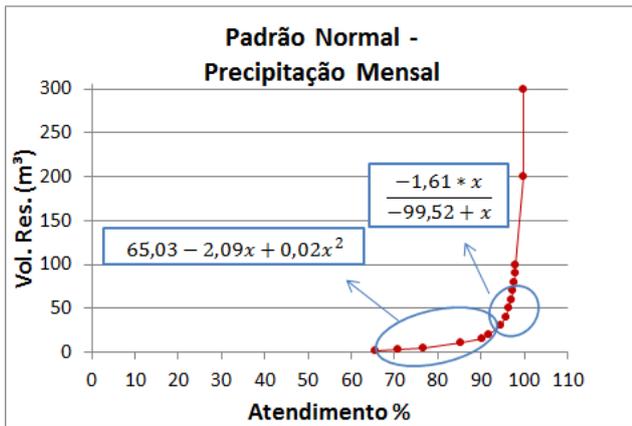
AP-D1 – Resultados obtidos para o método da simulação aplicado com valores mensais e diários de precipitação para as três residências selecionadas



**APÊNDICE E – Resultados de atendimento à demanda por volume de
reservatório
(elaborado pela autora)**

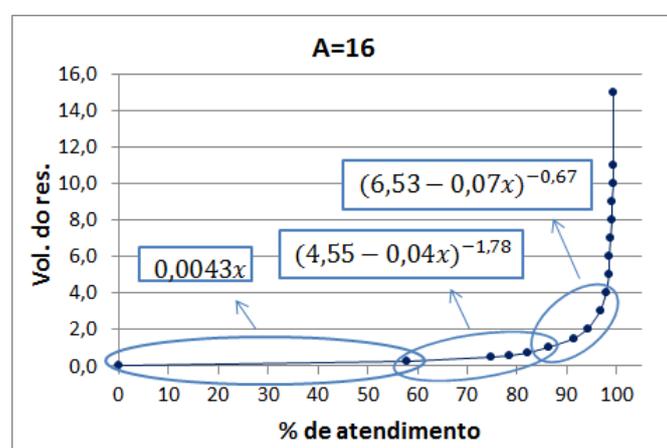
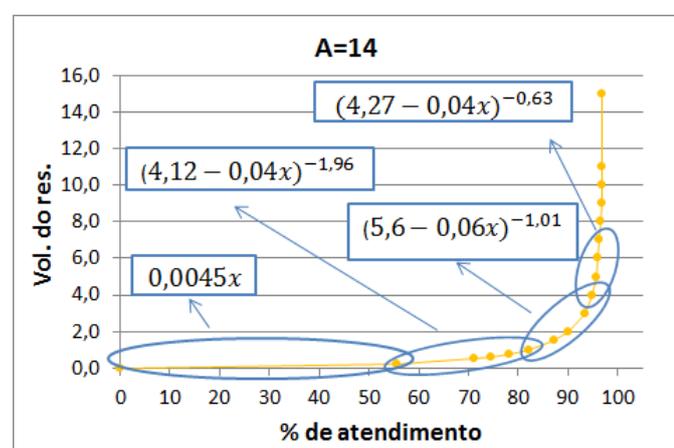
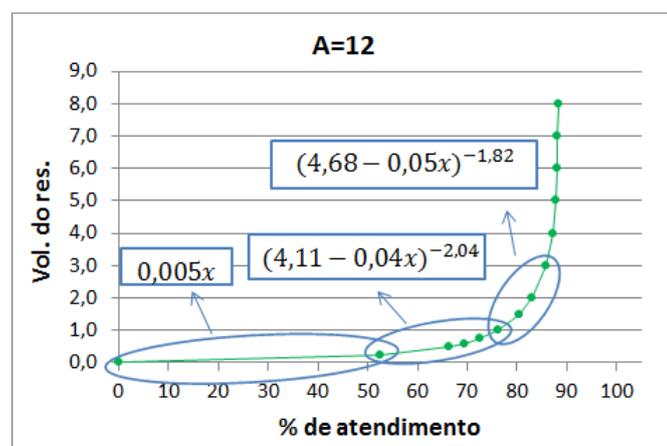
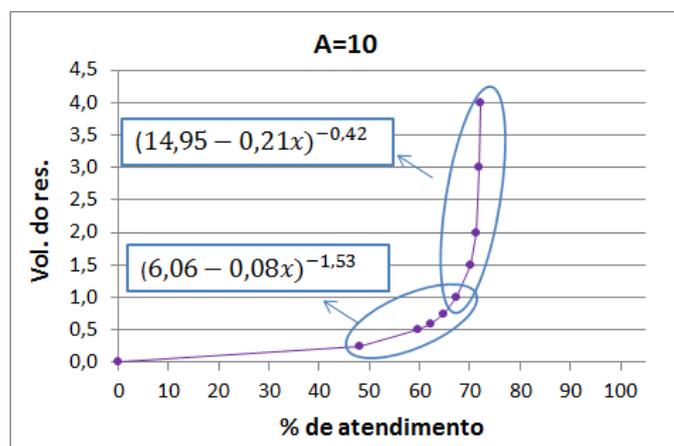
AP-D1 – Comparação entre os métodos da simulação aplicado com valores mensais e diários de precipitação e equações ajustadas às curvas

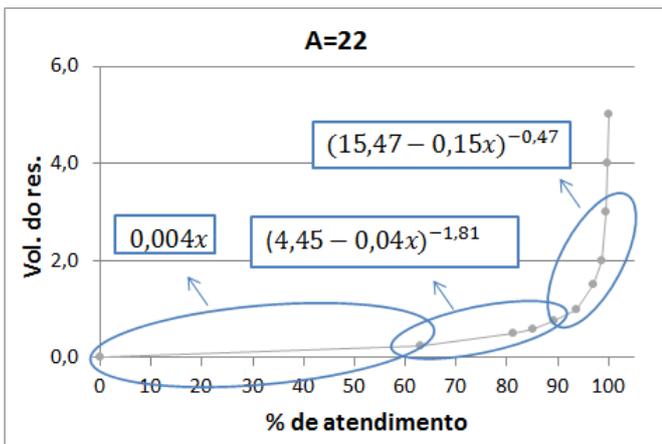
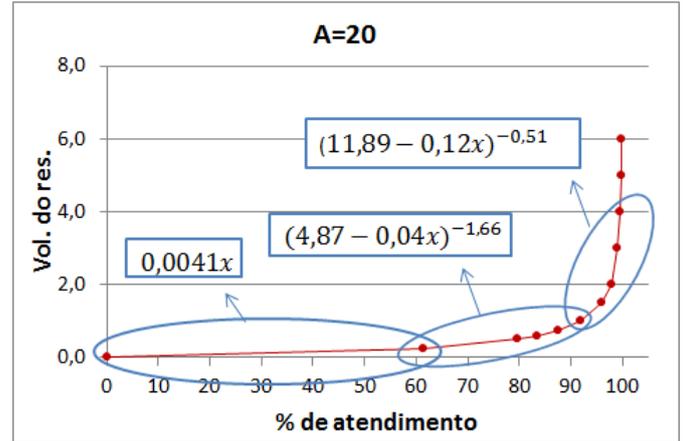
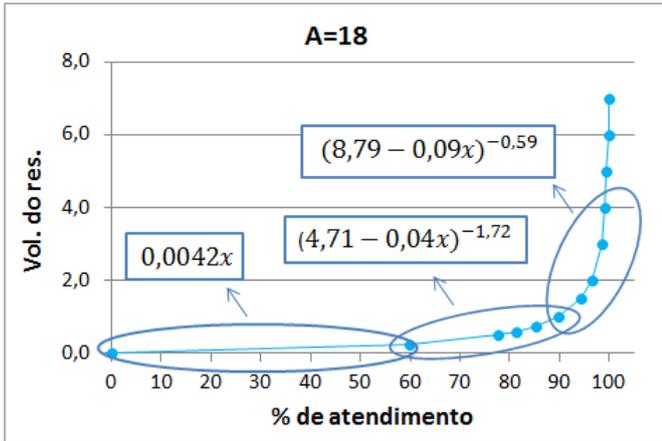




**APÊNDICE F – Resultados de atendimento à demanda por volume de reservatório para 53 anos de dados de precipitação
(elaborado pela autora)**

AP-F1 – Equações ajustadas às curvas de volume do reservatório x porcentagem de atendimento para cada área de telhado

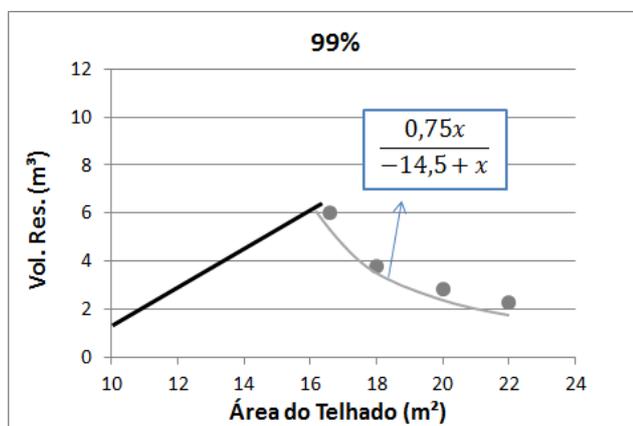




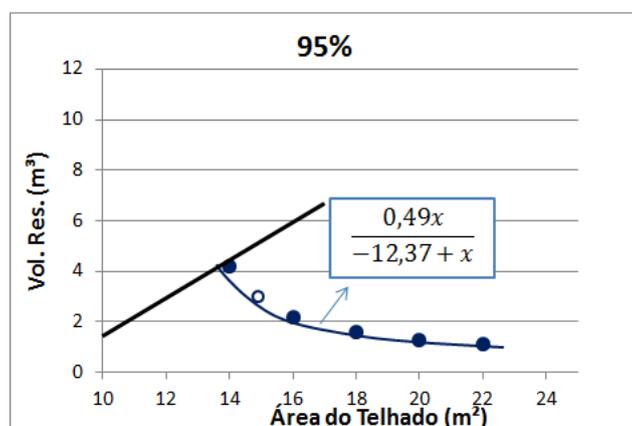
(fonte: elaborado pela autora)

**APÊNDICE G – Resultados de atendimento à demanda por volume de reservatório para 53 anos de dados de precipitação
(elaborado pela autora)**

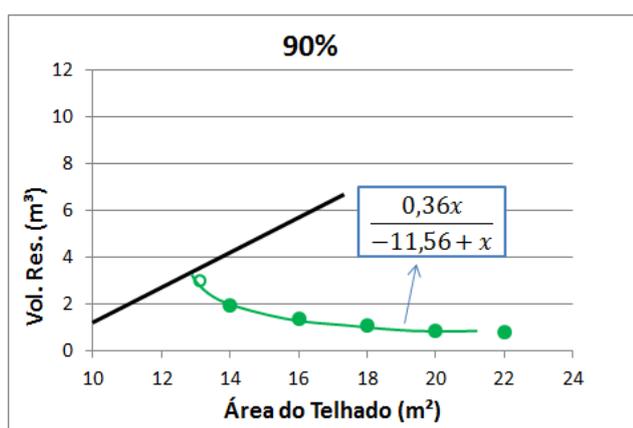
AP-G1 – Equações ajustadas às curvas de volume do reservatório x área de trabalho para cada porcentagem de atendimento



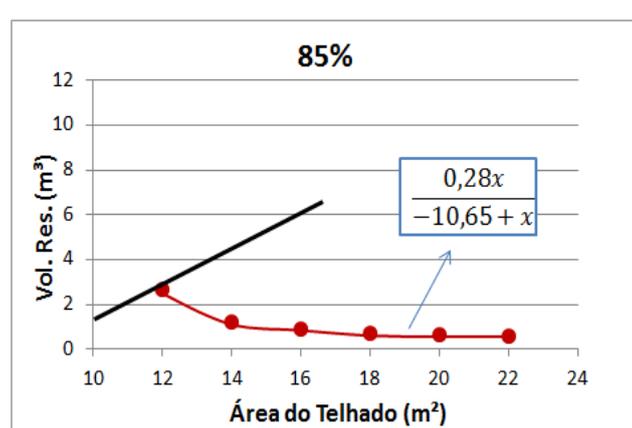
(fonte: elaborado pela autora)



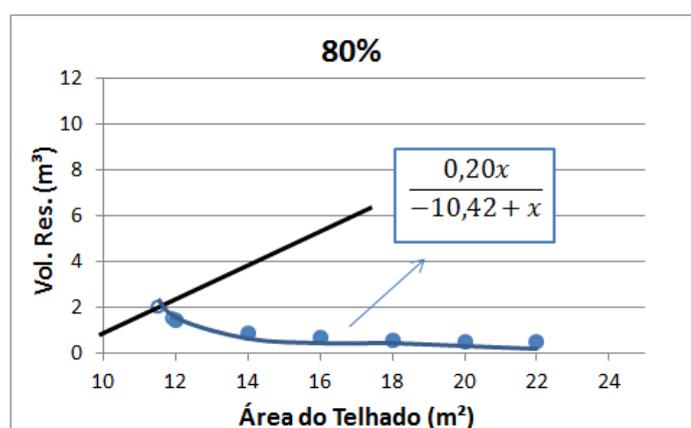
(fonte: elaborado pela autora)



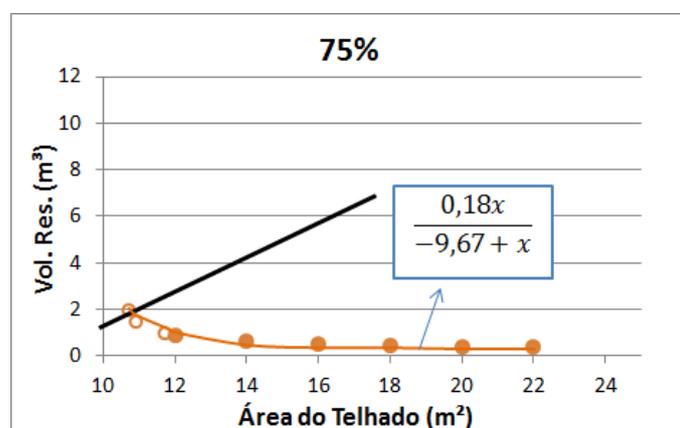
(fonte: elaborado pela autora)



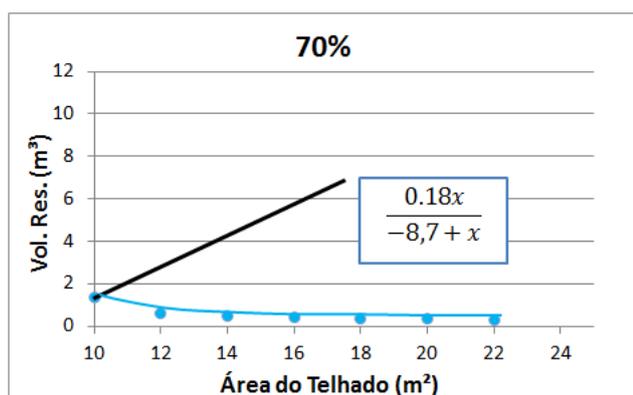
(fonte: elaborado pela autora)



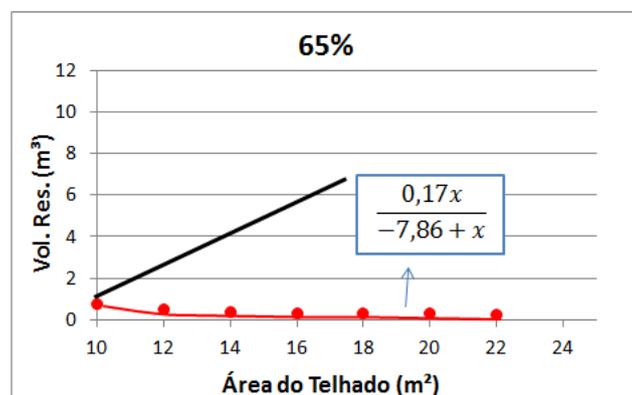
(fonte: elaborado pela autora)



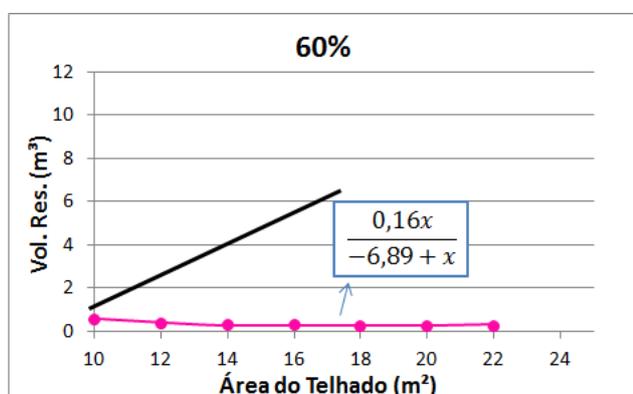
(fonte: elaborado pela autora)



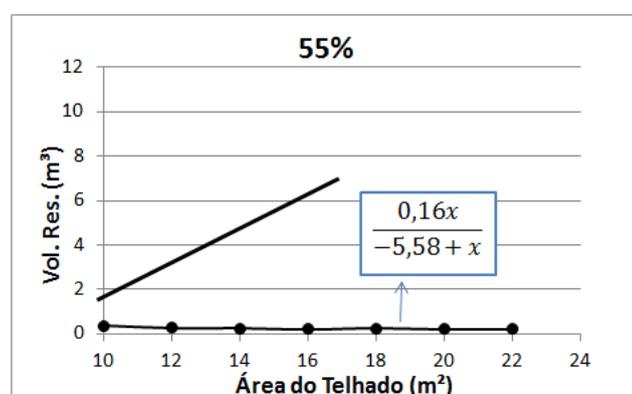
(fonte: elaborado pela autora)



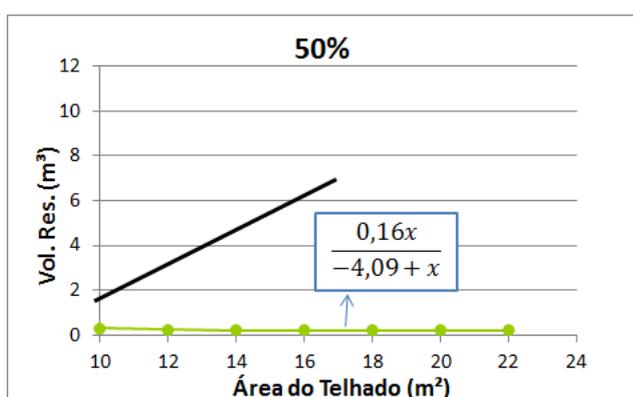
(fonte: elaborado pela autora)



(fonte: elaborado pela autora)



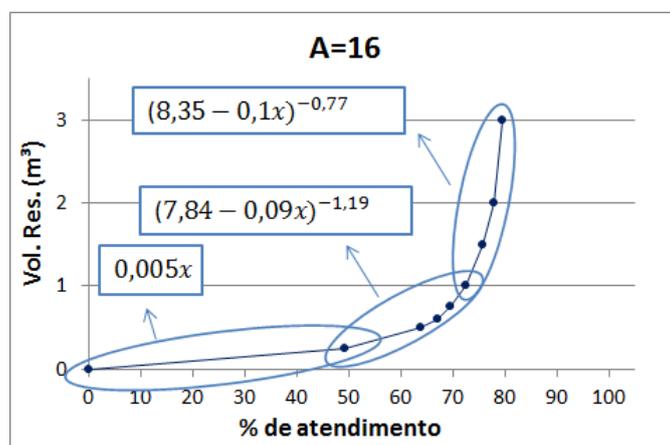
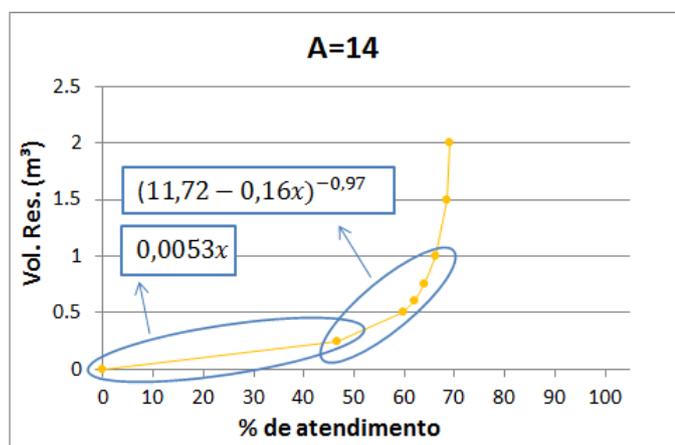
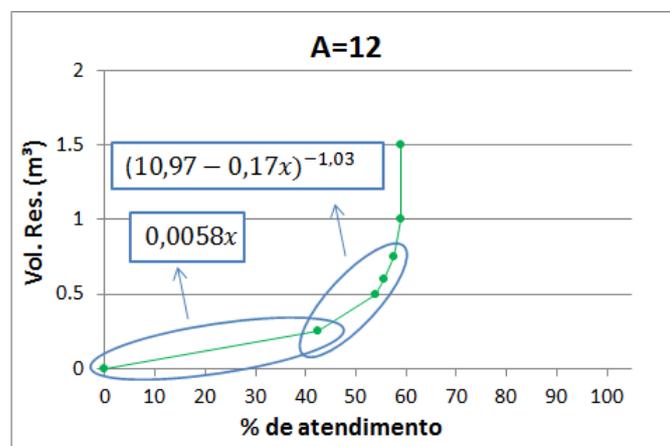
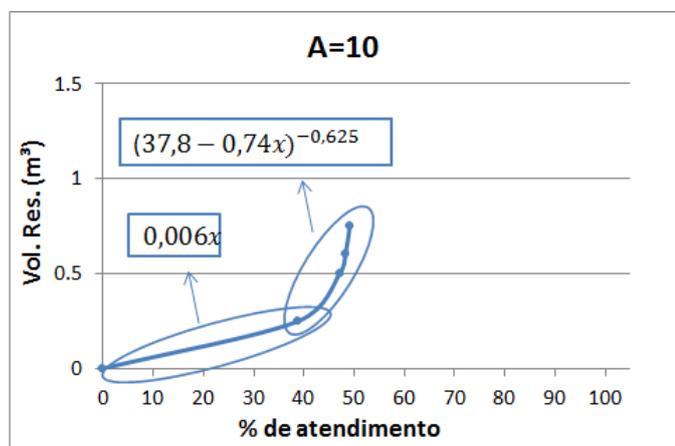
(fonte: elaborado pela autora)

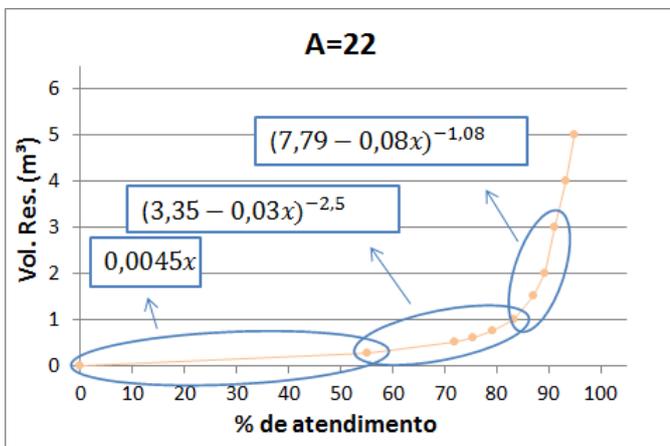
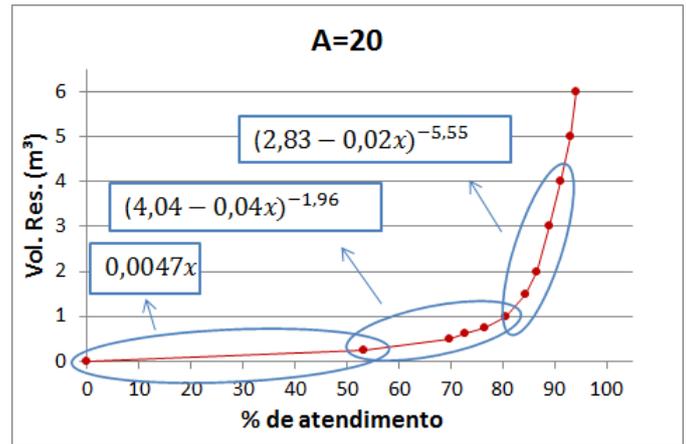
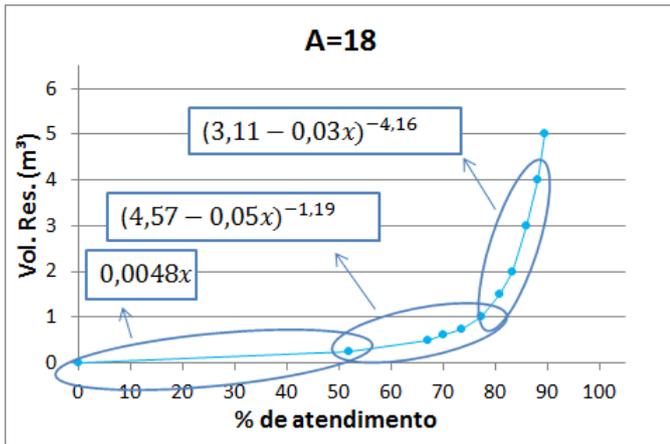


(fonte: elaborado pela autora)

**APÊNDICE H – Resultados de atendimento à demanda por volume de reservatório para a sequência de 5 anos mais seca
(elaborado pela autora)**

AP-H1 – Equações ajustadas às curvas de volume do reservatório x porcentagem de atendimento para cada área de telhado

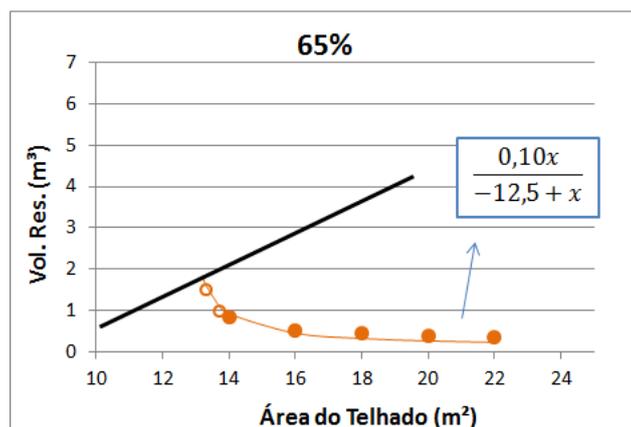
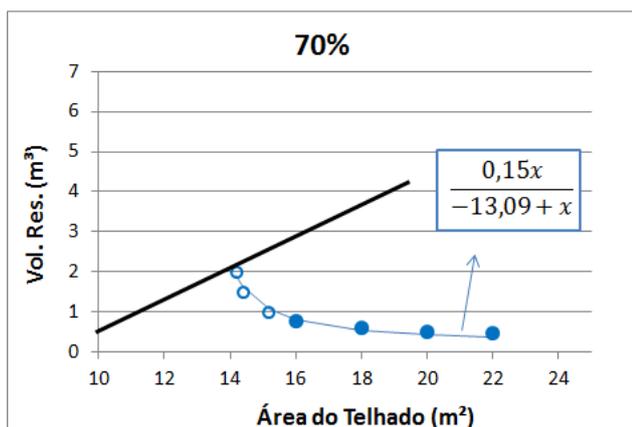
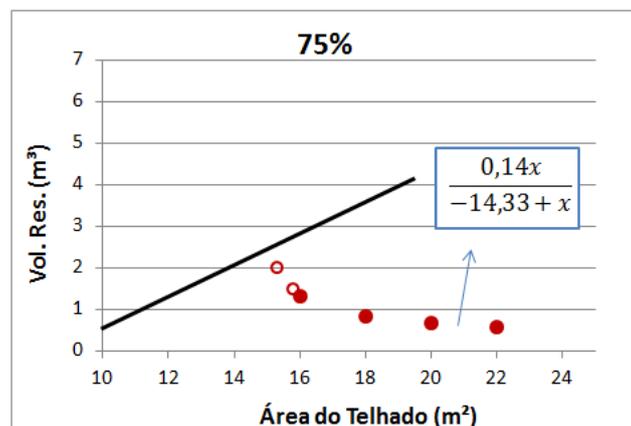
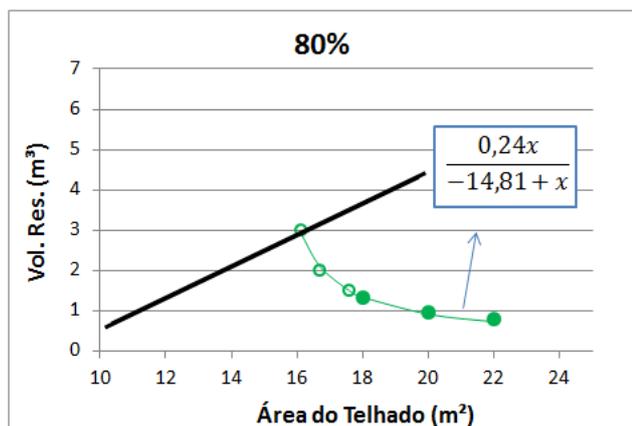
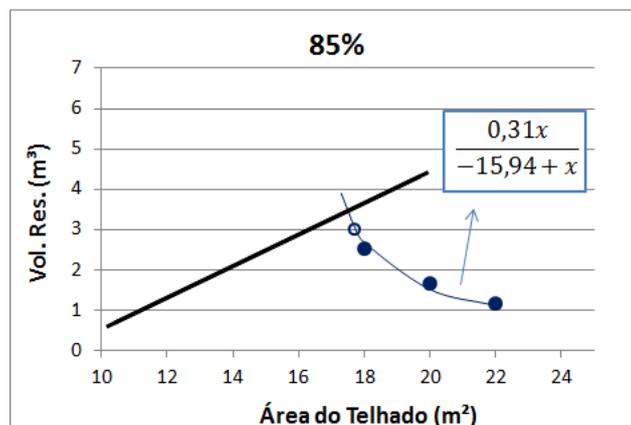
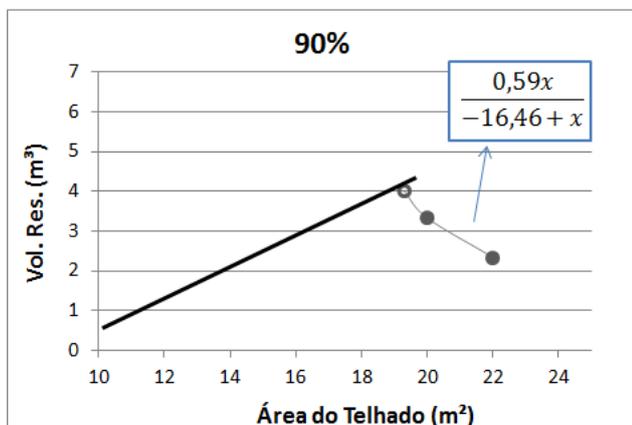


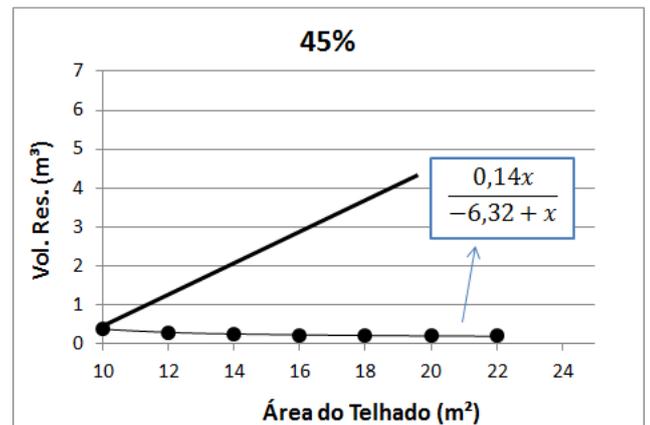
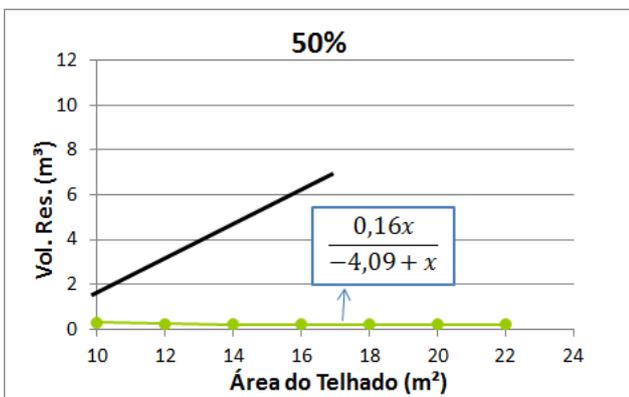
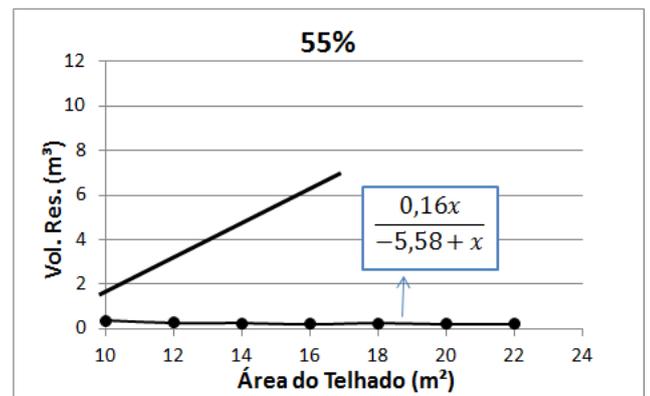
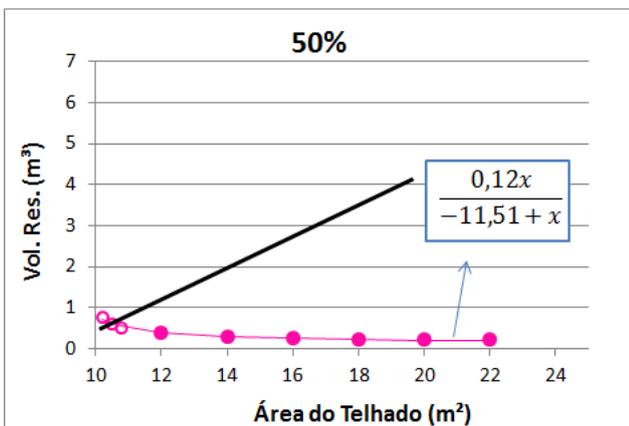
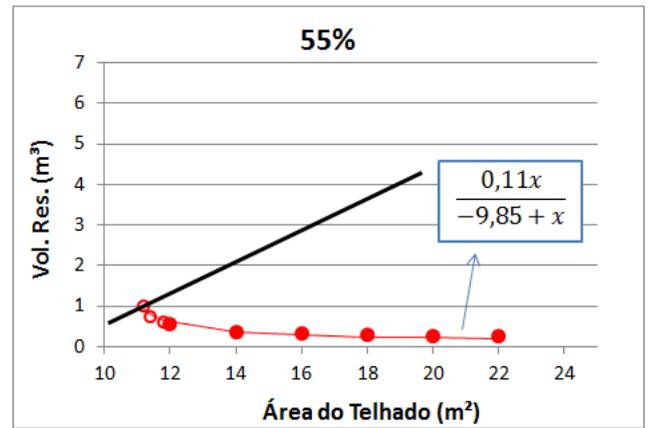
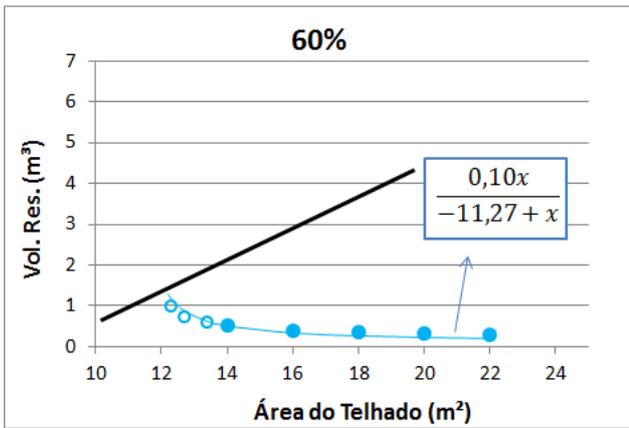


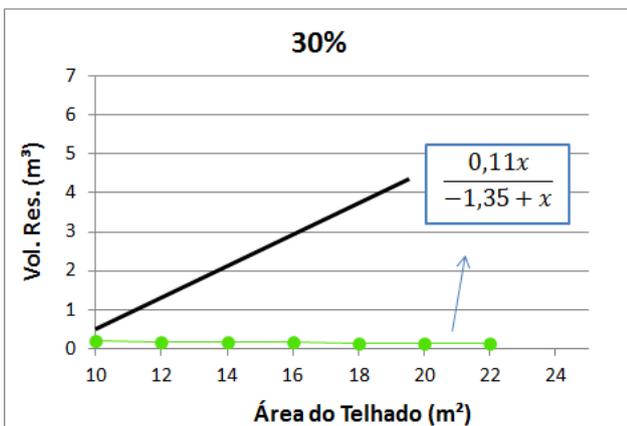
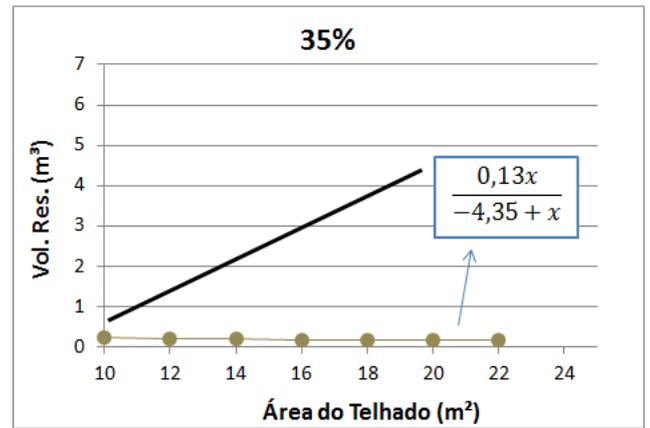
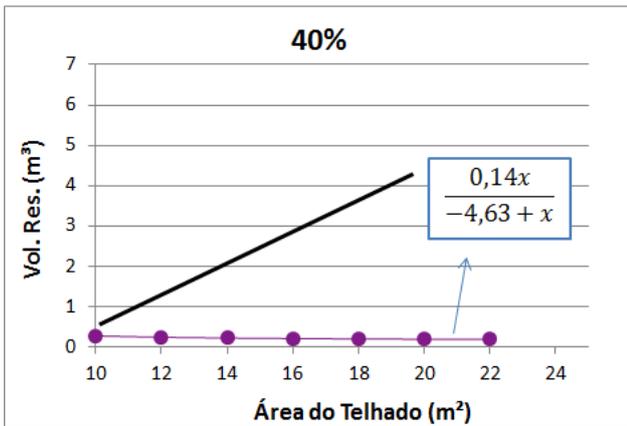
(fonte: elaborado pela autora)

**APÊNDICE I – Resultados de volume de reservatório por área de captação
para sequência de 5 anos mais seca
(elaborado pela autora)**

AP-II – Equações ajustadas às curvas de volume do reservatório x área de trabalho para cada porcentagem de atendimento







(fonte: elaborado pela autora)