

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Mayara Condé Rocha Murça

Aproveitamento de águas pluviais em instalações militares do
Comando da Aeronáutica: aplicação
ao caso do PAMA-GL

Trabalho de Graduação
2011

Civil

Mayara Condé Rocha Murça

**Aproveitamento de águas pluviais em instalações militares do
Comando da Aeronáutica: aplicação ao caso do PAMA-GL**

Orientador

Prof. Dr. Marcelo De Julio (ITA)

Coorientador

Maj Eng Marcio Antonio da Silva Pimentel (DIRENG)

Divisão de Engenharia Civil

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AEROESPACIAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Divisão de Informação e Documentação

Murça, Mayara Condé Rocha

Aproveitamento de águas pluviais em instalações militares do Comando da Aeronáutica: aplicação ao caso do PAMA-GL / Mayara Condé Rocha Murça.

São José dos Campos, 2011.

138f.

Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia Civil – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2011.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo De Julio

1. Tratamento de água. 2. Reciclagem. 3. Chuvas. I. Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil. II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MURÇA, Mayara Condé Rocha. **Aproveitamento de águas pluviais em instalações militares do Comando da Aeronáutica: aplicação ao caso do PAMA-GL.** 2011. 138f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Mayara Condé Rocha Murça

TÍTULO DO TRABALHO: Aproveitamento de águas pluviais em instalações militares do Comando da Aeronáutica: aplicação ao caso do PAMA-GL

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2011

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Mayara Condé Rocha Murça

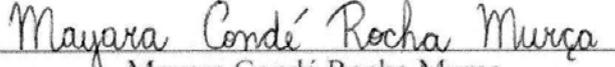
Mayara Condé Rocha Murça

Rua Guineza, 133 – Engenho de Dentro

CEP 20755-330 – Rio de Janeiro – RJ

**APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM INSTALAÇÕES MILITARES DO
COMANDO DA AERONÁUTICA: APLICAÇÃO AO CASO DO PAMA-GL**

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



Mayara Condé Rocha Murça
Autora



Prof. Dr. Marcelo De Julio (IIA)
Orientador



Maj Eng Marcio Antonio da Silva Pimentel (DIRENG)
Coorientador



Prof. Dr. Eliseu Lucena Neto
Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

Dedico este trabalho à minha família,
que sempre me apoiou e
me incentivou a alcançar meus objetivos.

AGRADECIMENTOS

À Diretoria de Engenharia da Aeronáutica, que me recebeu de braços abertos, concedendo a oportunidade de desenvolver este trabalho de graduação e, em particular, ao Cel Robson, pelos esforços empreendidos para viabilizar esta grande experiência.

Ao Maj Marcio, por sua excelente orientação, por todo o conhecimento transmitido e pelo constante incentivo.

À EP-40, em especial à Ten Taísa, pelo apoio e pela amizade demonstrada.

Ao Parque de Material Aeronáutico do Galeão, que autorizou a realização deste trabalho e ofereceu auxílio no que fosse preciso.

Ao Ten José, exemplo de dedicação profissional e de humildade, e à sua equipe, por terem me auxiliado em minhas inúmeras visitas de campo, sobretudo durante as coletas de água pluvial.

Ao Laboratório Químico-Farmacêutico da Aeronáutica, pelo suporte material.

À Fundação Oswaldo Cruz, por ter disponibilizado equipamentos e materiais para a realização das análises e, em particular, ao Jaime e à sua equipe, pelas técnicas ensinadas, pela confiança e por toda a atenção, a despeito da imprevisibilidade inerente à chegada das amostras de água de chuva no laboratório.

Ao meu orientador Prof. Marcelo De Julio, pelo empenho em guiar em direção à excelência, pela incomparável motivação e pela constante disponibilidade.

Ao meu relator Prof. Wilson Cabral, que contribuiu para o aperfeiçoamento deste trabalho e me ofereceu a oportunidade de ser autora de um capítulo em seu livro.

À minha mãe, por ter me ajudado a superar as dificuldades encontradas, sobretudo durante a fase experimental.

Por fim, esses agradecimentos também se destinam àqueles que, sempre ao meu lado, contribuíram para o sucesso da longa jornada de graduação no ITA.

A Deus, pelas bênçãos concedidas.

Aos meus pais, pela confiança e dedicação incondicional.

À minha família, pelo apoio sincero em todos os momentos.

À minha turma CIVIL-11 e aos meus demais amigos do ITA, por todas as experiências compartilhadas, pelos sentimentos de amizade e de união que fortaleceram a caminhada e pelos bons momentos vividos, transformados em recordações para toda a vida.

A todos os meus professores, pela inestimável atenção e pelos ensinamentos essenciais para a minha formação profissional e pessoal.

“Para ser grande, sê inteiro: nada
Teu exagera ou exclui.
Sê todo em cada coisa. Põe quanto és
No mínimo que fazes.
Assim em cada lago a lua toda
Brilha, porque alta vive.”

Ricardo Reis, 14-2-1933

RESUMO

Este trabalho de graduação teve como objetivo avaliar o potencial de aproveitamento de águas pluviais, despertado pelas dimensões das edificações e pelas atividades inerentes ao meio militar, no contexto das instalações do Comando da Aeronáutica. Para isso, foi estudado o caso do PAMA-GL.

A partir de análises físico-químicas e microbiológicas de amostras coletadas, foi feita a caracterização da qualidade da água pluvial, com o objetivo de criar parâmetros de projeto. Mostrou-se que a técnica do first flush realmente é eficiente como forma de pré-tratamento, uma vez que foi responsável por redução acentuada dos valores de turbidez, cor e DBO. Se adotado um descarte de 1,5 mm da precipitação inicial, o aproveitamento para fins não potáveis pode ser realizado após tratamento que reduza em 78,2% a cor aparente e em 61% a turbidez e que promova correção de pH e desinfecção. Os resultados da caracterização também indicaram que a água de chuva analisada enquadra-se na classe B, de acordo com a NBR 12216 da ABNT (1992), e na classe 1, de acordo com a Resolução nº 357 do CONAMA (2005), revelando um potencial animador para o aproveitamento para fins potáveis.

No que diz respeito a propostas de ampliação da viabilidade econômica de projetos nessa área, desenvolveu-se um novo método de dimensionamento de reservatório baseado na resolução de problemas de programação matemática relacionados à minimização do custo no ciclo de vida. No estudo de caso analisado, utilizando-se a água de chuva em atividades como lavagem de aeronaves, peças, pátios e viaturas e descargas em bacias sanitárias, verificou-se que é possível obter uma redução significativa nos gastos com consumo de água potável anualmente. Dessa forma, espera-se que a metodologia apresentada seja um instrumento de auxílio na elaboração de projetos de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em outras organizações militares no Brasil, permitindo uma redução de gastos da União e uma racionalização no uso dos recursos hídricos.

Palavras-chave: desenvolvimento sustentável; aproveitamento; água de chuva; Comando da Aeronáutica.

ABSTRACT

This graduate work intended to evaluate the potential of rainwater harvesting, awakened by buildings dimensions and activities related to military environment, in the context of Aeronautics Command plants. For this, it was studied the case of PAMA-GL.

From physic-chemical and microbiological analysis of collected samples, the characterization of rainwater quality was made in order to create project parameters. It was shown that the first flush technique is really effective as pre-treatment, since it was responsible for significant reduction of turbidity, color and BOD values. If a disposal of the first 1.5 mm of rainfall is adopted, the non-potable use may be performed after a treatment capable to reduce 78,2% of apparent color and 61% of turbidity and promote pH correction and disinfection. The characterization results also indicated that the studied rainwater is classified as Class B, according to NBR 12216 of ABNT (1992), and Class 1, in accordance with Resolution n° 357 of CONAMA (2005), revealing an exciting potential for potable use.

Regarding the proposals for expanding the economic viability of projects in this area, it was developed a new method of reservoir sizing based on solving mathematical programming problems related to the minimization of life cycle cost. In the case analyzed, if rainwater is used in activities as washing aircrafts, parts, cars and yards and discharges in toilets, it will be possible to obtain a significant reduction in expenses with potable water consumption annually. Therefore, the methodology presented is expected to be a tool to aid rainwater harvesting systems development in other military organizations in Brazil, enabling a reduction of Union expenses and a rational use of water resources.

Keywords: sustainable development; rainwater harvesting; Aeronautics Command.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Disponibilidade hídrica superficial no Brasil.....	23
Figura 2 – Disponibilidade hídrica subterrânea no Brasil	24
Figura 3 – Evolução da demanda urbana de água no Brasil.....	25
Figura 4 – Avaliação do abastecimento de água por estado para 2015.....	25
Figura 5 – Avaliação oferta/demanda de água para 2015 no Brasil	26
Figura 6 – Visão macro de um PCA.....	29
Figura 7 – Sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	39
Figura 8 – Localização do PAMA-GL no complexo do Galeão	45
Figura 9 – Sistema de abastecimento de água da região do PAMA-GL.....	45
Figura 10 – Disposição das edificações potenciais do PAMA-GL	49
Figura 11 – Localização do hangar do P3 projetado (H 004).....	50
Figura 12 – Estrutura hierárquica do problema em questão	51
Figura 13 – Posicionamento do reservatório de águas pluviais.....	52
Figura 14 – Caixa de areia à jusante de um dos condutores verticais do H 003	56
Figura 15 – Conductor vertical do hangar H 003	56
Figura 16 – Pluviômetro com marcações indicativas do first flush.....	57
Figura 17 – Aparato utilizado na coleta de água pluvial	57
Figura 18 – Posicionamento do pluviômetro durante as coletas	58
Figura 19 – Turbidímetro HACH modelo 2100P	59
Figura 20 – Espectrofotômetro HACH.....	60
Figura 21 – pHmetro Thermo Scientific Orion 3 Star.....	60
Figura 22 – Oxímetro Thermo Scientific Orion 3 Star.....	61
Figura 23 – Cromatógrafo de íons Metrohm modelo 790 personal IC	62
Figura 24 – Arranjo típico de filtro lento com nível d'água variável.....	75
Figura 25 – Gráfico de cor aparente para cada descarte inicial considerado	84
Figura 26 – Gráfico de cor verdadeira para cada descarte inicial considerado	84
Figura 27 – Gráfico de turbidez para cada descarte inicial considerado	85
Figura 28 – Gráfico de pH para cada descarte inicial considerado	85
Figura 29 – Gráfico de DBO para cada descarte inicial considerado.....	86
Figura 30 – Gráfico de coliformes totais para cada descarte inicial considerado	87
Figura 31 – Gráfico de E. coli para cada descarte inicial considerado.....	87

Figura 32 – Gráfico de fluoreto para cada descarte inicial considerado	88
Figura 33 – Gráfico de cloreto para cada descarte inicial considerado	88
Figura 34 – Gráfico de nitrato para cada descarte inicial considerado.....	89
Figura 35 – Gráfico de fosfato para cada descarte inicial considerado	89
Figura 36 – Gráfico de sulfato para cada descarte inicial considerado	90
Figura 37 – Gráfico do valor presente da opção de captação de água pluvial pelo volume.....	92
Figura 38 – Gráfico da eficiência de aproveitamento pelo volume.....	92
Figura 39 – Gráfico da eficiência de atendimento pelo volume.....	93
Figura 40 – Gráfico do suprimento e do volume de chuva consumido anuais pelo volume....	93
Figura 41 – Gráfico das eficiências e do payback pela demanda.....	95
Figura 42 – Gráfico do suprimento e do volume de chuva consumido anuais pela demanda..	95
Figura 43 – Gráfico da diferença entre volume consumido e suprimento pela demanda	95
Figura 44 – Áreas de contribuição.....	98
Figura 45 – Filtro de pressão	102
Figura 46 – Clorador por contato	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Qualidade da água de chuva escoada sobre pátio e pista no AISP	41
Tabela 2 – Características da água pluvial	42
Tabela 3 – Reservatórios do PAMA-GL	46
Tabela 4 – Histórico do consumo de água, em m ³ , no PAMA-GL	47
Tabela 5 – Área em planta de cobertura das principais edificações do PAMA-GL.....	50
Tabela 6 – Distância das edificações ao local avaliado para fixação do reservatório	52
Tabela 7 – Escala de comparação do PAH.....	53
Tabela 8 – Níveis de preferência para o critério área	79
Tabela 9 – Níveis de preferência para o critério distância	79
Tabela 10 – Matriz de comparação entre edificações para o critério área	80
Tabela 11 – Matriz de comparação entre edificações para o critério distância.....	80
Tabela 12 – Matriz de comparação normalizada para o critério área.....	80
Tabela 13 – Matriz de comparação normalizada para o critério distância	81
Tabela 14 – Matriz de preferências	81
Tabela 15 – Matriz de comparação entre critérios	81
Tabela 16 – Matriz de comparação entre critérios normalizada.....	81
Tabela 17 – Resultado final da aplicação do PAH	82
Tabela 18 – Resultados da avaliação da razão de coerência	82
Tabela 19 – Volume de reservatório, em m ³ , para cada método analisado	96
Tabela 20 – Resultados do dimensionamento do reservatório de auto-limpeza.....	97
Tabela 21 – Resultados do dimensionamento de calhas e condutores	99
Tabela 22 – Resultados do dimensionamento da bomba hidráulica.....	100
Tabela 23 – Atividades de operação e manutenção de filtro lento de areia	101
Tabela 24 – Valor presente da opção de captação de água de chuva para cada método.....	104
Tabela 25 – Estimativa de custos dos principais elementos do sistema de aproveitamento de águas pluviais do PAMA-GL	105
Tabela 26 – Análise de sensibilidade das métricas econômicas com relação à demanda	106

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COMAER – Comando da Aeronáutica

FAB – Força Aérea Brasileira

TG – trabalho de graduação

PAMA-GL – Parque de Material Aeronáutico do Galeão

ANA – Agência Nacional das Águas

FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo

SINDUSCON-SP – Sindicato das Indústrias do Estado de São Paulo

PCA – Programa de Conservação da Água

AISP – Aeroporto Internacional de São Paulo

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos

OM – organização militar

DIRENG – Diretoria de Engenharia da Aeronáutica

PAH – Processo de Análise Hierárquica

ITA – Instituto Tecnológico de Aeronáutica

ICEA – Instituto de Controle do Espaço Aéreo

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

DSSA – Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental

ENSP – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca

FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz

VBA – Visual Basic for Applications

BCB – Banco Central do Brasil

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

pH – Potencial Hidrogeniônico

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

E. coli – Escherichia coli

RC – razão de coerência

IC – índice de coerência

IA – índice aleatório

n – número de anos

d – taxa de desconto

VPR – valor presente simples

VPRU – valor presente uniforme

E_a – eficiência de atendimento

E_h – eficiência de aproveitamento

S – nível do reservatório

V_p – volume de chuva aproveitável

D – demanda diária

ff – first flush

C – coeficiente de runoff

P – precipitação diária

A – área de coleta

t – tempo

O_v – overflow

V_R – volume do reservatório

V_c – volume de chuva consumido

Supr – suprimento

VPR_{chuva} – valor presente da opção de captação de água de chuva

C_i – custo de implantação

C_{om} – custo de operação e manutenção

C_{ap} – custo do m^3 de água potável

T_u – vida útil

$VPR_{\text{concessionária}}$ – valor presente da opção de utilização de água da concessionária

V_{RAL} – volume do reservatório de auto-limpeza

Q_o – vazão no orifício

A_o – área da seção do orifício

C_d – coeficiente de descarga

g – aceleração da gravidade

h – altura média da lâmina líquida

Q – vazão de projeto

A_c – área de contribuição

I_p – intensidade pluviométrica

ν - coeficiente de rugosidade

i – declividade

R_H – raio hidráulico

ϕ - diâmetro do condutor

ϕ_{rec} - diâmetro da tubulação de recalque

ϕ_{suc} - diâmetro da tubulação de sucção

Q_r – vazão de recalque

x – número de horas trabalhadas

H_{man} – altura manométrica

H_R – desnível vencido pela tubulação de recalque

H_S – desnível vencido pela tubulação de sucção

H_{PCR} – perda de carga na tubulação de recalque

H_{PCS} – perda de carga na tubulação de sucção

J – perda de carga unitária

P – potência

γ - peso específico da água

η - rendimento

A_f – área total em planta do filtro

t_f – taxa de filtração

N – número de filtros em paralelo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	OBJETIVOS	21
2.1	OBJETIVO GERAL	21
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1	CENÁRIO ATUAL DOS RECURSOS HÍDRICOS NO MUNDO	22
3.1.1	Disponibilidade hídrica	22
3.1.2	Ciclo hidrológico	27
3.1.3	Uso racional da água	28
3.2	LEGISLAÇÃO VIGENTE	30
3.2.1	Instrução Normativa nº 01 do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão ..	30
3.2.2	Portaria nº 518 do Ministério da Saúde	30
3.2.3	Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente	31
3.2.4	NBR 15527:2007 da ABNT.....	32
3.2.5	NBR 12216:1992 da ABNT.....	32
3.2.6	Leis Estaduais e Municipais.....	33
3.2.7	GE.01/502.75/00865/04 da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária....	33
3.3	PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA	33
3.3.1	Parâmetros físicos	34
3.3.1.1	Cor	34
3.3.1.2	Turbidez	35
3.3.1.3	Temperatura.....	35
3.3.2	Parâmetros químicos	35
3.3.2.1	Potencial Hidrogeniônico (pH)	35
3.3.2.2	Cloro residual livre.....	36
3.3.2.3	Cloreto	36
3.3.2.4	Fluoreto.....	36
3.3.2.5	Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	36
3.3.2.6	Nitrato.....	37

3.3.2.7	Sulfato	37
3.3.2.8	Fosfato	37
3.3.3	Parâmetros microbiológicos.....	37
3.3.3.1	Coliformes totais.....	38
3.3.3.2	Coliformes termotolerantes	38
3.4	SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	39
3.4.1	Qualidade das águas pluviais	39
3.4.2	Tipos de tratamento.....	42
4	MATERIAL E MÉTODOS	44
4.1	ESTUDO SOBRE O PAMA-GL	44
4.1.1	Sistema de abastecimento de água.....	45
4.1.2	Perfil de consumo de água	46
4.1.3	Potencial de aproveitamento de água de chuva das instalações existentes.....	49
4.1.4	Histórico de precipitações.....	54
4.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA PLUVIAL	54
4.2.1	Tratamento empregado	54
4.2.2	Determinação do ponto de coleta de água pluvial	55
4.2.3	Métodos de coleta e de preservação de amostras.....	56
4.2.4	Análises físico-químicas e microbiológicas.....	58
4.2.5	Equipamentos utilizados para a realização das análises	59
4.2.5.1	Turbidímetro	59
4.2.5.2	Espectrofotômetro.....	59
4.2.5.3	pHmetro	60
4.2.5.4	Oxímetro	61
4.2.5.5	Cromatógrafo de íons	61
4.3	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	62
4.3.1	Reservatório de acumulação	62
4.3.2	Reservatório de auto-limpeza.....	70
4.3.3	Calhas e Condutores	72
4.3.4	Sistema elevatório.....	73
4.3.5	Unidades de tratamento.....	74
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	77

5.1	PREVISÃO DE DEMANDA DE ÁGUA DE CHUVA	77
5.2	ESCOLHA DE EDIFICAÇÕES PARA O APROVEITAMENTO.....	78
5.3	RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA PLUVIAL.....	83
5.4	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS.....	91
5.4.1	Reservatório de acumulação	91
5.4.2	Reservatório de auto-limpeza.....	97
5.4.3	Calhas e Condutores	97
5.4.4	Sistema elevatório	99
5.4.5	Unidades de tratamento.....	100
5.5	AVALIAÇÃO ECONÔMICA	103
5.5.1	Método proposto para o dimensionamento do reservatório de acumulação.....	103
5.5.2	Sistema de aproveitamento de águas pluviais do PAMA-GL.....	104
6	CONCLUSÕES.....	107
	REFERÊNCIAS	109
	APÊNDICE A	114
	APÊNDICE B.....	122
	APÊNDICE C	126
	APÊNDICE D	129
	APÊNDICE E.....	135

1 Introdução

O desenvolvimento sustentável vem ganhando cada vez mais destaque na sociedade atual. O modelo de produção implantado pelo homem moderno é baseado em um sistema linear, responsável por extrair recursos naturais e dispô-los após utilização, sem preocupação com o reaproveitamento e com a limitação do meio-ambiente. Infelizmente, foi necessária a ocorrência de inúmeros eventos destrutivos para que a sociedade começasse a perceber que tal modelo não é sustentável.

Com relação à água, recurso natural de importância vital e econômica, há uma demanda progressiva devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento da indústria. No entanto, o próprio uso irracional deste recurso faz com que as fontes do mesmo evoluam no sentido contrário ao da demanda. O desperdício, a poluição industrial, urbana e agrícola e a escassez de saneamento são alguns dos fatores que acarretam a degradação dos corpos hídricos, contribuindo para a redução da oferta de água de boa qualidade. Assim, são necessárias técnicas cada vez mais avançadas para tornar a água potável, própria para o consumo humano, o que encarece o custo do metro cúbico fornecido pelas concessionárias.

Nesse sentido, o aproveitamento de águas pluviais para abastecimento humano insere-se como uma das alternativas à escassez de água potável e ao aumento progressivo do custo da mesma no mundo. No entanto, os benefícios gerados transcendem a preservação e o uso mais racional dos recursos hídricos, uma vez que o aproveitamento de água de chuva contribui também para a redução de enchentes em grandes centros urbanos, os quais possuem grande parte de suas superfícies impermeabilizadas. Assim, observa-se que a drenagem urbana é favorecida com uma solução parcial para amortizar os picos de vazão não comportados pelos sistemas estruturais existentes.

É válido observar que o aproveitamento das águas pluviais não é um conceito atual, existindo desde os primórdios da civilização. Segundo Tomaz (2003), um exemplo clássico é o da Pedra Moabita, encontrada em uma região próxima a Israel, a qual continha gravações que sugeriam a captação da água de chuva, datando de 850 aC. Em Portugal, a Fortaleza dos Templários, localizada na cidade de Tomar e construída em 1160 dC, era abastecida com água de chuva. Há exemplos ainda mais antigos que evidenciam a utilização deste sistema pelo homem. Atualmente, muitos países estão seriamente empenhados no desenvolvimento de

pesquisas nesta área, dada a preocupação global com a escassez dos recursos hídricos. Nos Estados Unidos, Alemanha e Japão, são oferecidos financiamentos para incentivar a construção de sistemas de captação de águas pluviais (TOMAZ, 2003). Por outro lado, no Brasil, ainda há certa resistência e as concessionárias não criam incentivos para tais projetos.

No âmbito do Comando da Aeronáutica (COMAER), a grande quantidade de hangares e edificações de maior porte existentes nas instalações militares por todo o país revela um potencial animador para a aplicação de sistemas que aproveitem a água de chuva. Aliado à existência de áreas de cobertura relevantes onde é possível realizar a captação, as próprias atividades inerentes ao COMAER estendem o leque de opções de aplicabilidade destes sistemas, tais como lavagem de pistas e pátios, lavagem de aeronaves e veículos, dentre outros. Em consequência, é possível obter uma redução de gastos da União e contribuir na inserção de uma mentalidade voltada para o uso racional da água, integrando a Força Aérea Brasileira (FAB) ao desenvolvimento sustentável. Vê-se, então, que um estudo aprofundado sobre o aproveitamento de águas pluviais em instalações militares é indispensável para que projetos possam ser desenvolvidos nessa área futuramente.

A escolha de utilização da água de chuva para fins potáveis ou não potáveis é um tema muito discutido hoje em dia e depende da qualidade da mesma e do nível de tratamento a ser empregado. Em algumas comunidades carentes de saneamento básico, o aproveitamento das águas pluviais é o único meio disponível de abastecimento para o consumo humano. No semi-árido brasileiro, cisternas de acumulação de água de chuva são uma realidade e garantem o acesso da comunidade à água. Segundo Gnadlinger (2007), o Programa de 1 Milhão de Cisternas (P1MC) executado pela Articulação no Semi-Árido (ASA) conseguiu fornecer água potável para um milhão de pessoas que vivem na área rural do semi-árido brasileiro, com um total de 194.922 cisternas construídas até 2007. Além disso, foi verificado que 55,3% das águas armazenadas em cisternas atenderam ao padrão de potabilidade da Portaria nº 518 (BRASIL, 2004), superando a qualidade de outras fontes de abastecimento utilizadas no semi-árido, e que, se alguns cuidados simples forem tomados no sentido de minimizar a contaminação da água antes e depois da passagem pela cisterna e de monitorar o sistema continuamente, o aproveitamento da água de chuva terá contribuição considerável para o aumento da qualidade de vida da população nessa região.

Apesar disso, em áreas metropolitanas e industriais, ainda é necessário estudar técnicas de tratamento para garantir a segurança do consumo e viabilizar economicamente o aproveitamento para fins potáveis em grande escala. Em contrapartida, a utilização para fins não-potáveis já está bem difundida no mundo. No Brasil, já existe normatização nessa área –

NBR 15527:2007 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – e diversos projetos são desenvolvidos anualmente, impulsionados pelo despertar dos princípios de sustentabilidade.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

Este trabalho de graduação (TG) visa a discutir o aproveitamento de águas pluviais em instalações militares do COMAER e contribuir no processo de inserção da FAB no cenário global de desenvolvimento sustentável. A partir do estudo de caso do Parque de Material Aeronáutico do Galeão (PAMA-GL), pretende-se criar parâmetros de projeto e diretrizes que auxiliem o desenvolvimento de projetos de sistemas que aproveitem a água de chuva em instalações militares no Brasil, despertando para o uso racional da água e para a consequente redução de gastos da União.

2.2 Objetivos específicos

Em uma visão específica, o estudo de caso do PAMA-GL tem como objetivo verificar a viabilidade do aproveitamento de água de chuva nesta organização militar (OM) e estimar o potencial de economia de água potável associado. A partir da caracterização da qualidade da água pluvial, pretende-se comprovar a eficiência do pré-tratamento, balizar a especificação do tratamento subsequente e discutir a aplicabilidade. Por fim, objetiva-se aprimorar técnicas de dimensionamento no sentido de ampliar a viabilidade econômica do projeto.

3 Revisão bibliográfica

3.1 Cenário atual dos recursos hídricos no mundo

3.1.1 Disponibilidade hídrica

De acordo com a UNESCO (2006), o planeta Terra dispõe de cerca de 1408 milhões de km³ de água, sendo 97,5% desse total composto por água salgada e somente 2,5% por água doce. Ainda, do volume total de água doce existente no mundo, 68,7% encontra-se congelada nas geleiras, 0,8% encontra-se sob a forma de gelo permanente do subsolo, 30,1% em água subterrânea e apenas 0,4% pode ser encontrado na biosfera e na atmosfera. Desses 0,4%, 77,5% encontra-se em rios e lagos e a presença restante se divide em atmosfera, plantas, animais e solos. Assim, verifica-se que a disponibilidade de água doce no globo para fins de abastecimento humano é menor que 1%. Resultado das atividades inerentes ao sistema implantado pelo homem, grande parte desses mananciais foi e vem sendo degradada por lançamentos irregulares e falta de tratamento adequado aos efluentes gerados, o que agrava a situação de disponibilidade hídrica para consumo humano devido à necessidade de sofisticação de tratamentos para a potabilização. Tais fatores, juntamente com o crescimento populacional e o aumento da demanda hídrica, vem encarecendo progressivamente o metro cúbico da água em grande parte dos países.

Se comparado com o restante do globo, o Brasil é um país que possui grande disponibilidade de recursos hídricos, sendo favorecido pela dimensão continental e pela posição geográfica. Apesar disso, a problemática da escassez de água potável também é um tema merecedor de atenção no cenário nacional. De acordo com levantamento coordenado pela Agência Nacional das Águas (ANA) e divulgado em 2011, 55% dos municípios brasileiros poderão ter déficit no abastecimento de água até 2015 caso não ocorram investimentos prioritários no setor. Desse total, 84% precisam de investimentos no sistema de produção e 16% necessitam de mananciais novos. Segundo as estimativas realizadas por esse levantamento, verificou-se que são necessários investimentos da ordem de R\$ 22 bilhões até 2015 para que um abastecimento satisfatório possa ser garantido até 2025 (ANA, 2010).

O ATLAS Brasil de Abastecimento Urbano de Água (ANA, 2010) reúne informações detalhadas sobre a situação dos municípios brasileiros quanto à distribuição da demanda, à oferta de água, à capacidade dos sistemas de produção e aos serviços de coleta e tratamento de esgotos. Para analisar se um município possui abastecimento satisfatório ou não, foram avaliados os parâmetros quantidade de água (balanço disponibilidade hídrica x demanda positivo?), qualidade da água (ausência de indicativos de poluição e de restrições ao tratamento da água para consumo humano?) e capacidade de produção de água (sistema com capacidade para atender à demanda para abastecimento humano?).

No que tange à disponibilidade hídrica, a metodologia empregada no ATLAS (ANA, 2010) avaliou as regiões hidrográficas quanto à disponibilidade superficial e subterrânea. As Figuras 1 e 2 apresentam a disponibilidade hídrica superficial e subterrânea no Brasil, respectivamente.

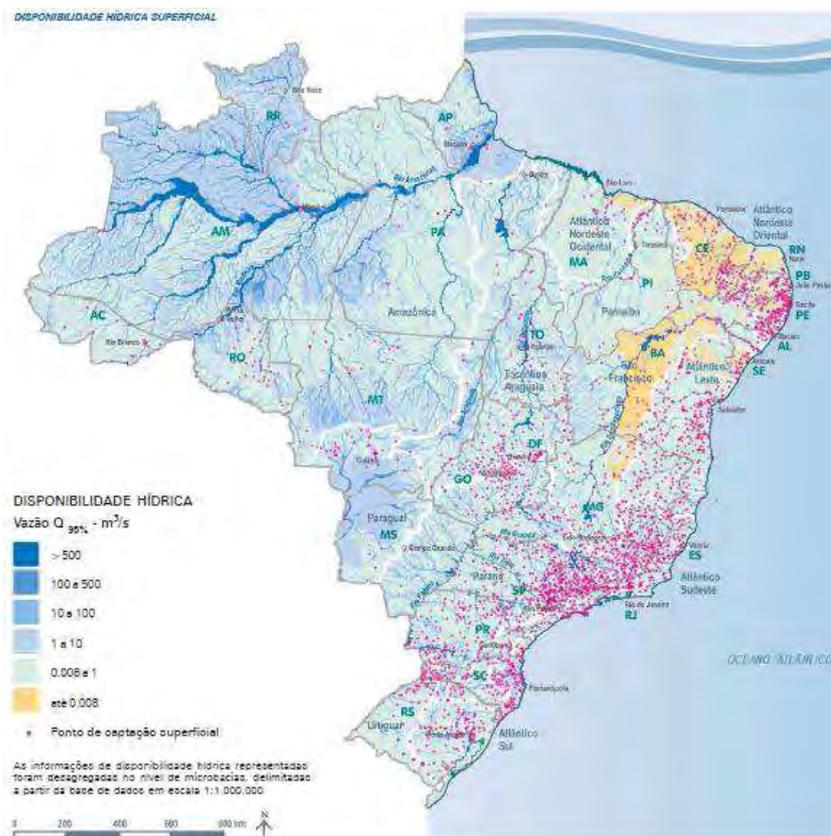


Figura 1 – Disponibilidade hídrica superficial no Brasil

Fonte: ANA (2010)

Utilizou-se como referência a vazão com 95% de permanência no tempo para os mananciais superficiais e o valor de 50% da reserva ativa (correspondente ao volume de água renovável anualmente no aquífero) como reserva explorável (passível de ser aproveitada para

abastecimento público) para os mananciais subterrâneos. Assim, verifica-se que a oferta de água pode ser menor que a estimada na realidade, uma vez que o início do aproveitamento de mananciais subterrâneos pode acarretar a redução das vazões de escoamento superficial.

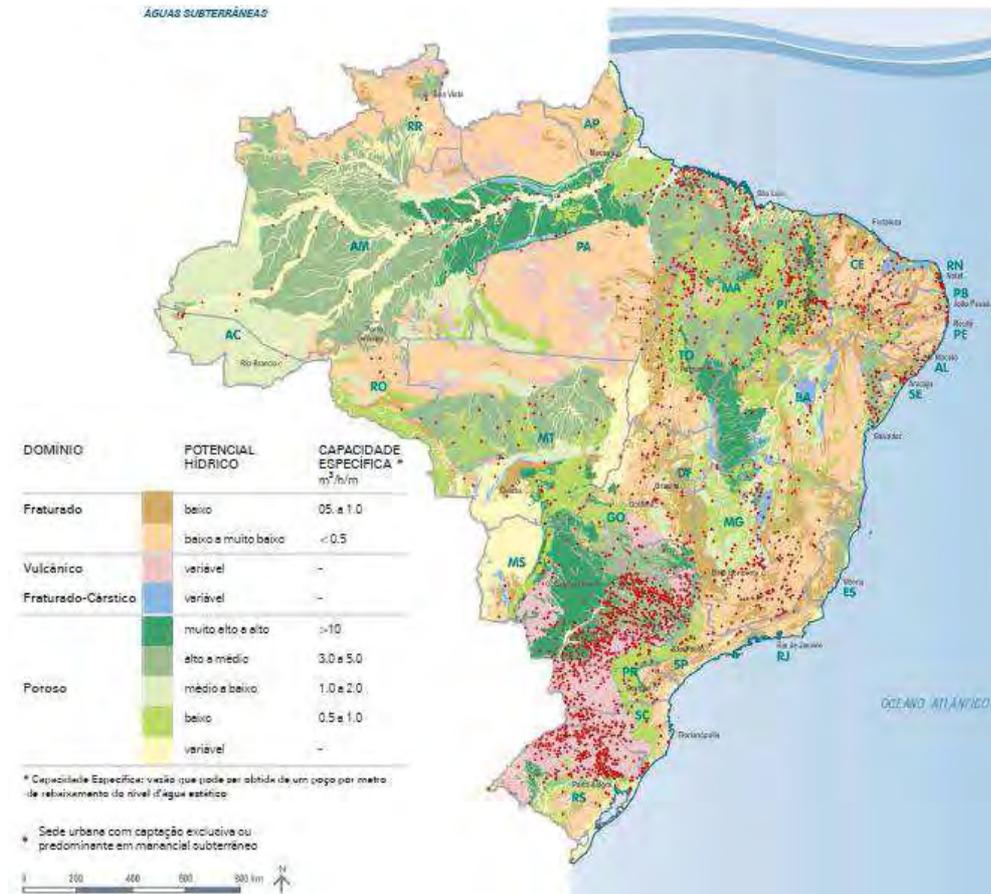


Figura 2 – Disponibilidade hídrica subterrânea no Brasil

Fonte: ANA (2010)

No que diz respeito à evolução da demanda urbana de água, foram feitas estimativas de crescimento populacional e aplicação de valores de consumo per capita obtidos pelo cruzamento de dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2000 e do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Dessa forma, deve-se salientar que as projeções apresentadas na Figura 3 sobre a demanda urbana para 2025 carecem de informações mais atualizadas sobre o consumo real de água da população brasileira, uma vez que existem dados mais recentes fornecidos pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008.

Para avaliar a relação oferta/demanda de água, a ANA (2010) realizou uma análise quanto à capacidade dos sistemas produtores (captação, elevatórias, adutoras e estações de tratamento de água) e quanto aos mananciais (quantidade e qualidade da água disponível). A quantidade foi avaliada conforme supracitado e a qualidade foi analisada através de quatro

parâmetros (demanda bioquímica de oxigênio, fósforo, nitrogênio amoniacal e sólidos dissolvidos totais). Se adotada uma maior quantidade de parâmetros de qualidade da água, alguns mananciais classificados satisfatórios poderiam se tornar impróprios. A Figura 4 apresenta a avaliação do abastecimento de água por estado para 2015 e a Figura 5 apresenta o diagnóstico geral da avaliação oferta/demanda para 2015 no Brasil.

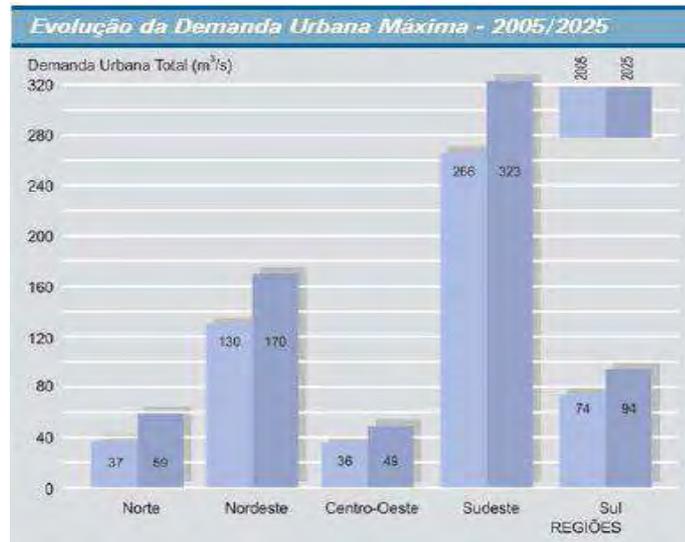


Figura 3 – Evolução da demanda urbana de água no Brasil

Fonte: ANA (2010)

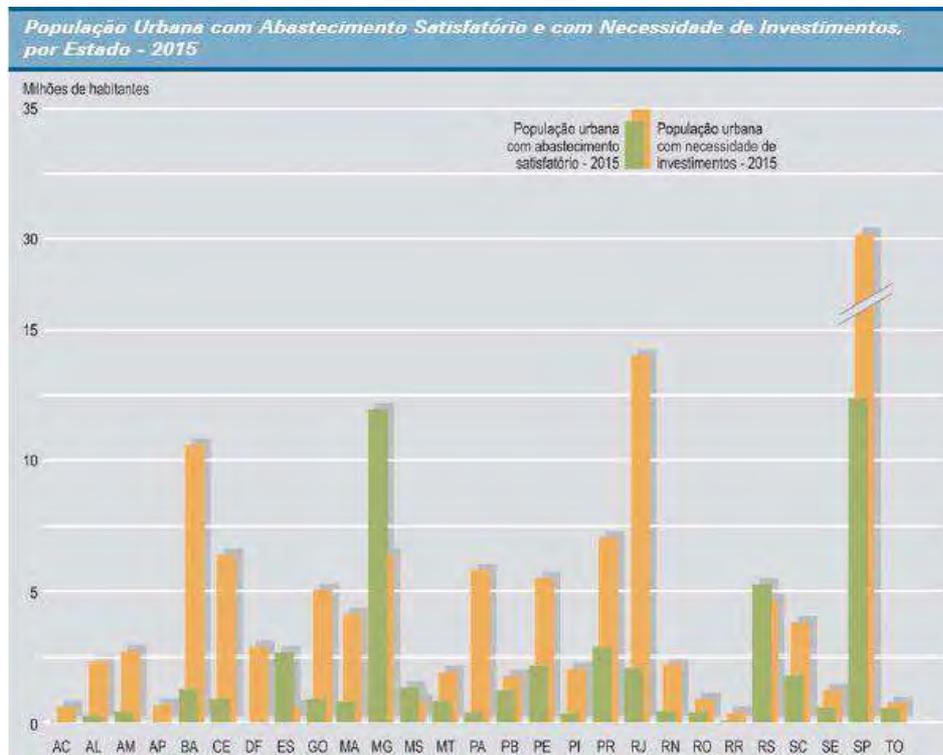


Figura 4 – Avaliação do abastecimento de água por estado para 2015

Fonte: ANA (2010)

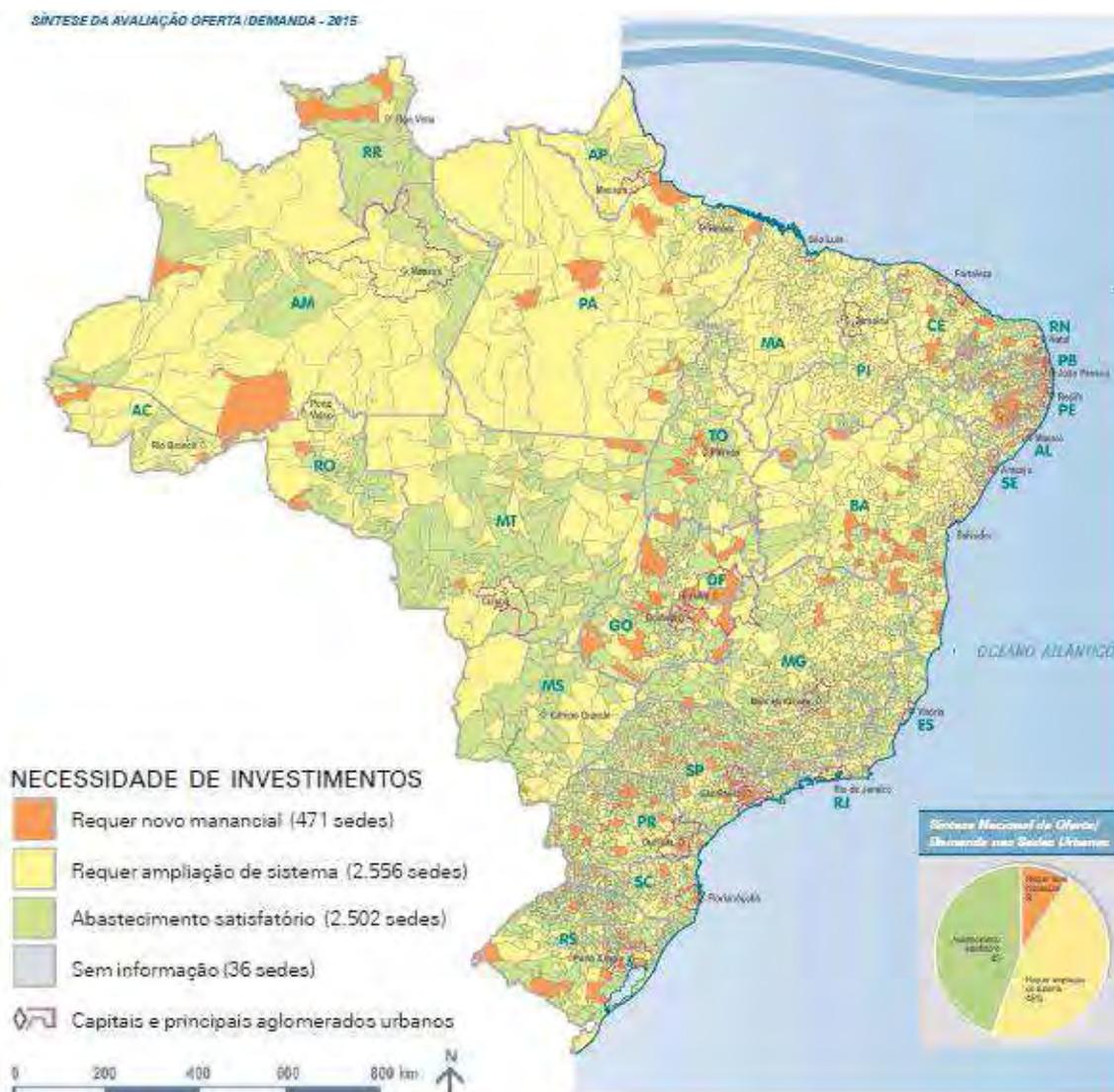


Figura 5 – Avaliação oferta/demanda de água para 2015 no Brasil

Fonte: ANA (2010)

Assim, conclui-se que a situação crítica divulgada pelo ATLAS (ANA, 2010) pode ser ainda mais preocupante analisando-se os fatores citados anteriormente com relação à metodologia da pesquisa realizada pela ANA. Nesse cenário, é fácil notar que uma gestão eficiente dos recursos hídricos faz-se necessária, a fim de evitar o desperdício e possibilitar o aproveitamento de fontes alternativas. A utilização de aparelhos hidráulicos mais eficientes, a manutenção periódica da rede de abastecimento, o controle de vazamentos e a hidrometração individualizada são algumas das medidas que vem sendo amplamente discutidas no sentido de reduzir o índice de perdas e desperdícios. Por outro lado, o aproveitamento de água de chuva e o reúso de efluentes constituem algumas das soluções alternativas para ampliar a oferta de água. Em ambos os casos, o desenvolvimento tecnológico e a conscientização e sensibilização da população são fatores decisivos para o amadurecimento das medidas citadas.

3.1.2 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico da Terra é um mecanismo global de transferência da água entre os ecossistemas terrestres superficiais e sub-superficiais, as massas de água e a atmosfera. Segundo Von Sperling (2005), os processos principais que descrevem o ciclo hidrológico simplificados são:

- precipitação;
- escoamento superficial;
- infiltração;
- evaporação;
- transpiração.

A precipitação é o fenômeno caracterizado pela água que cai da atmosfera na superfície terrestre. Sua ocorrência está associada ao resfriamento do ar à proximidade da saturação, condensação do vapor d'água e aumento do tamanho das gotículas por coalizão e aderência até o momento em que precipitam. O escoamento superficial e a infiltração são as etapas subsequentes à precipitação. O escoamento da água sobre a superfície depende da intensidade da chuva e da capacidade de infiltração do solo. O restante da água, que não se desloca sobre o terreno, infiltra, sendo responsável pela formação dos lençóis d'água. São estes que abastecem majoritariamente os corpos d'água superficiais em períodos secos. Por fim, a evapotranspiração é o fenômeno responsável pelo retorno da água à atmosfera. Denomina-se evaporação a transferência da água superficial do estado líquido para o gasoso e transpiração a transferência da água para a atmosfera a partir das folhas das plantas (VON SPERLING, 2005).

De acordo com a UNESCO (2006), um novo conceito de ciclo hidrológico vem sendo discutido, diferenciando os componentes “água azul” e “água verde”. Águas azuis estão associadas aos ecossistemas aquáticos e ao fluxo em corpos d'água superficiais e aquíferos. Por outro lado, águas verdes são responsáveis por alimentar ecossistemas terrestres e culturas de sequeiro a partir da zona de umidade do solo, além de evaporar das plantas e corpos d'água para a atmosfera sob a forma de vapor. A criação deste novo conceito teve como um dos objetivos a ampliação do foco e de recursos sobre áreas geralmente negligenciadas, como a agricultura de sequeiro, pastagem, pradarias, florestas e demais ecossistemas terrestres.

3.1.3 Uso racional da água

Como já foi citado anteriormente, o planejamento racional de uso da água é uma questão que deve ser tratada como prioridade, sendo essencial para a conservação desse recurso natural de importância vital para a humanidade. Ao longo dos últimos anos, diversas pesquisas têm sido realizadas no sentido de implementar novos padrões, tanto em edificações já existentes quanto em projetos, baseados em conceitos de gestão eficiente da demanda e aproveitamento de fontes alternativas.

Em 2005, a ANA, a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e o Sindicato das Indústrias do Estado de São Paulo (SINDUSCON-SP) lançaram o manual de conservação e reúso de águas em edificações, estabelecendo orientações e diretrizes inéditas no Brasil para a implantação de programas de conservação de água (PCA) em edificações comerciais, residenciais e industriais. Segundo esta publicação, os grandes motivadores para a implantação de um PCA são:

- economia gerada pela redução do consumo de água;
- economia criada pela redução dos efluentes gerados;
- consequente economia de outros insumos como energia e produtos químicos;
- redução de custos operacionais e de manutenção dos sistemas hidráulicos e equipamentos da edificação;
- aumento da disponibilidade de água (proporcionando, no caso das indústrias, por exemplo, aumento de produção sem incremento de custos de captação e tratamento);
- agregação de valor ao “produto”;
- redução do efeito da cobrança pelo uso da água;
- melhoria da visão da organização na sociedade – responsabilidade social.

Um PCA implantado de forma sistêmica implica em gestão da demanda (otimização do consumo e monitoramento contínuo) e gestão da oferta (controle de qualidade para cada necessidade e aproveitamento de fontes alternativas). A Figura 6 apresenta a visão macro de um PCA.

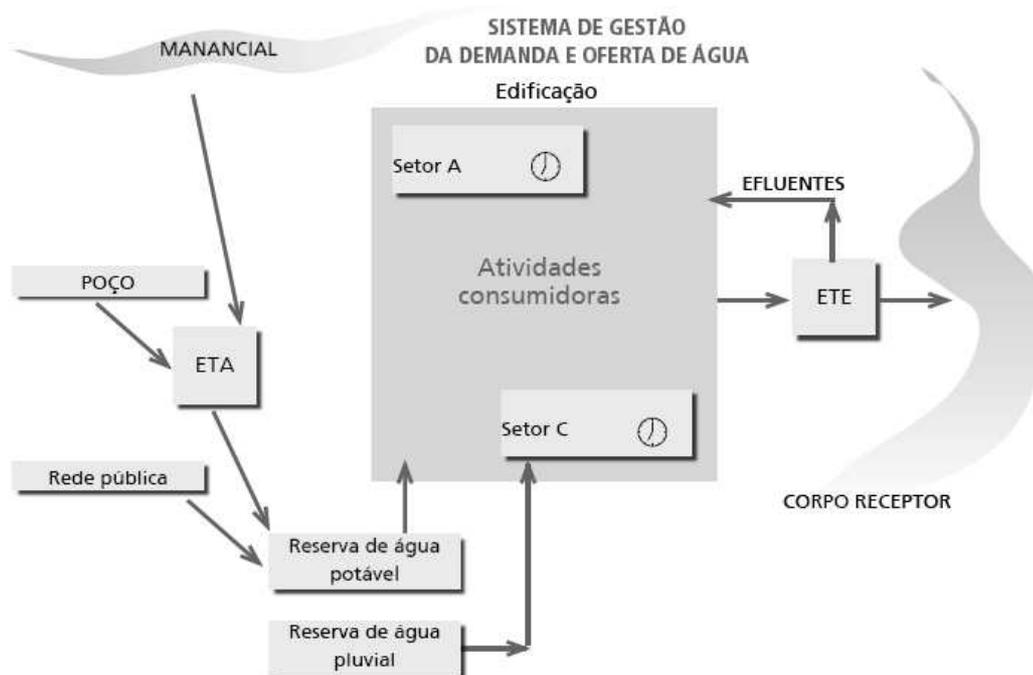


Figura 6 – Visão macro de um PCA

Fonte: ANA; FIESP; SINDUSCON-SP (2005)

No âmbito do COMAER, faz-se necessário realizar estudos sobre a implantação de PCA em instalações militares de apoio às atividades aeronáuticas. O projeto HIDROAER, desenvolvido pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) em parceria com outras instituições, é uma iniciativa de uso eficiente da água aplicada a plantas aeroportuárias, tendo o Aeroporto Internacional de São Paulo (AISP) como estudo de caso. Frisso (2009) realizou um levantamento das condições de uso de água do AISP e concluiu que, se algumas medidas simples forem tomadas, como realocação de peças, instalação de novos equipamentos e manutenção da rede hidráulica, é possível reduzir consideravelmente o consumo de água potável no aeroporto. Como exemplo, a simples regulação de equipamentos nos sanitários de um dos setores do AISP gerou uma economia de 22% no consumo. Por outro lado, no que tange à oferta, Bezerra (2007) investigou a viabilidade do aproveitamento de água de chuva no AISP, obtendo que o consumo médio, de acordo com dados levantados entre 2000 e 2006, corresponde a 40% do potencial de aproveitamento no aeroporto, avaliado para pátios, pistas e coberturas. Além disso, foi realizada uma estimativa de custos considerando a implementação de um tratamento com ozônio e concluiu-se que a relação custo/benefício do mesmo é elevada, sendo pouco viável economicamente, sobretudo para finalidades que não requerem uma maior qualidade da água. No entanto, uma avaliação mais completa do caso deveria englobar a caracterização da água de chuva proveniente do escoamento superficial em pátios, pistas e telhados no AISP, a análise da qualidade da mesma pós-tratamento e um estudo

econômico sobre a implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais. É importante ressaltar que o escoamento sobre pátios e pistas pode afetar a qualidade da água, levando à necessidade de especificar tratamentos mais sofisticados e, em consequência, onerosos e que o dimensionamento do reservatório merece atenção especial, pois constitui o ponto mais sensível no projeto, podendo inviabilizá-lo economicamente.

3.2 Legislação vigente

Para a concepção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em instalações do COMAER, faz-se necessário conhecer aspectos legais que embasam tais projetos. A seguir, apresenta-se a legislação base atual sobre a qual se fundamenta este TG.

3.2.1 Instrução Normativa nº 01 do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão

Segundo o Art. 1º da Instrução Normativa nº 01 do Ministério de Planejamento, Orçamento e Gestão, de 19 de janeiro de 2010, as especificações para a aquisição de bens, contratação de serviços e obras por parte dos órgãos e entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional deverão conter critérios de sustentabilidade ambiental, considerando os processos de extração ou fabricação, utilização e descarte dos produtos e matérias-primas. Assim, os projetos elaborados para fins de licitação devem visar à redução do consumo de água e energia e de impactos ambientais oriundos da utilização de tecnologias e materiais. Dentre os aspectos abordados, tem-se a utilização de energia solar para aquecimento de água, a concepção de sistemas de medição individualizada de consumo de energia e água, o tratamento e reúso de efluentes, o aproveitamento de água de chuva, dentre outros. Enfim, é possível observar que o aproveitamento de águas pluviais insere-se nesse contexto, passando a representar não somente uma mentalidade sustentável de uso racional dos recursos hídricos, como também uma exigência legal.

3.2.2 Portaria nº 518 do Ministério da Saúde

O objetivo da Portaria nº 518 do Ministério da Saúde, de 15 de março de 2004, é definir as diretrizes e responsabilidades com relação ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelecendo seu padrão de potabilidade. Após fornecer

algumas definições e atribuir aos níveis federal, estadual e municipal seus deveres e obrigações, a portaria apresenta as características da água, em diversos aspectos, para que esta seja considerada potável. Os seguintes padrões são abordados:

- Padrão microbiológico;
- Padrão de turbidez para água pós-filtração ou pré-desinfecção;
- Padrão para substâncias químicas que representam risco à saúde;
- Padrão de radioatividade;
- Padrão de aceitação para consumo humano.

Por fim, são instituídos procedimentos relativos aos planos de amostragem que devem ser elaborados pelos responsáveis pelo controle da qualidade da água de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água.

3.2.3 Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente

A Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 17 de março de 2005, trata da classificação dos corpos d'água, estabelece as diretrizes ambientais para seu enquadramento e dispõe sobre os padrões de lançamento de efluentes. Foi complementada e parcialmente alterada no que diz respeito às condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores pela Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, deste mesmo órgão. De acordo com o Art. 3º, as águas doces, salobras ou salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade. A resolução fornece os padrões e as condições de qualidade da água para enquadramento dos corpos hídricos em suas respectivas classes. Dentre os usos preponderantes dos mananciais, tem-se o abastecimento para consumo humano. O nível de tratamento da água para este fim depende da classe a qual o corpo hídrico fornecedor pertence. Assim, águas de classe especial podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano desde que seja feita desinfecção. Águas de classe 1, 2 e 3 podem ter este uso desde que sejam submetidas a tratamento simplificado, convencional e convencional ou avançado, respectivamente. Por outro lado, águas de classe 4 não podem ser destinadas ao consumo humano.

3.2.4 NBR 15527:2007 da ABNT

A NBR 15527 – Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos – foi criada pela ABNT em 2007 e aborda o aproveitamento de água de chuva proveniente de escoamento superficial em coberturas em áreas urbanas, exclusivamente para fins não potáveis. Citam-se alguns exemplos de aplicação desta água, após tratamento adequado, tais como descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais. Dentre os aspectos mais relevantes, tem-se a proposta de instalação de dispositivo para descarte da água de escoamento inicial, com a recomendação de um descarte de 2 mm da precipitação inicial (na falta de dados), o fornecimento de métodos de dimensionamento de reservatório e a definição de parâmetros de qualidade da água de chuva (para usos restritivos não potáveis) cujos valores de enquadramento estão descritos a seguir:

- Ausência de coliformes totais em 100 mL;
- Ausência de coliformes termotolerantes em 100 mL;
- Cloro residual livre entre 0,5 e 3,0 mg/L (no caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção);
- Turbidez menor que 2,0 uT ou menor que 5,0 uT para usos menos restritivos;
- Cor aparente menor que 15 uH;
- pH entre 6,0 e 8,0 na rede de distribuição no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado.

3.2.5 NBR 12216:1992 da ABNT

Na NBR 12216:1992 – Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público – da ABNT, são fornecidas as diretrizes para a elaboração de projetos de estação de tratamento de água destinada à produção de água potável para abastecimento público. Segundo a mesma, as águas naturais para abastecimento ao consumo humano são classificadas nos tipos A, B, C ou D de acordo com parâmetros pré-definidos. Ainda, de acordo com o item 5.3.3, estabelece-se o tratamento mínimo necessário para cada tipo de água.

3.2.6 Leis Estaduais e Municipais

Alguns estados e municípios já instituíram legislação sobre a coleta de água de chuva com o objetivo de empregá-la para fins não potáveis e/ou minimizar enchentes. No caso específico do estado Rio de Janeiro, por exemplo, tem-se a Lei nº 4393, de 16 de setembro de 2004, na qual se estabelece a obrigatoriedade, por parte de empresas projetistas e de construção civil, de prover coletores, caixa de armazenamento e distribuidores para água de chuva nos projetos de empreendimentos que abriguem mais de 50 famílias ou nos empreendimentos comerciais com mais de 50 m² de área construída.

3.2.7 GE.01/502.75/00865/04 da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

A norma GE.01/502.75/00865/04 – Memorial de critérios e condicionantes para instalações de águas pluviais – da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO) visa a definir os critérios de referência mínimos necessários à elaboração de projetos de instalações de águas pluviais para plantas aeroportuárias. Dentre os aspectos abordados, tem-se a condição específica de avaliar e prever a captação da água de chuva das coberturas visando aproveitamento no sítio aeroportuário, bem como retenção da mesma para evitar alagamentos em áreas adjacentes. Como exemplo, o item 3.1.1 dispõe sobre a separação de condutores oriundos da cobertura das edificações e de condutores oriundos de grelhas do piso de forma a permitir o aproveitamento da água de cobertura.

3.3 Parâmetros de qualidade da água

Segundo Von Sperling (2005), a qualidade de uma água existente é função das condições naturais e do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica, ao passo que a qualidade desejável para uma água é função do uso previsto para a mesma. Os fenômenos naturais alteram a qualidade da água devido aos processos constituintes do ciclo hidrológico, uma vez que ocorre o contato desta com as partículas presentes no solo e na atmosfera. Por outro lado, também ocorre a interferência humana, direta e indiretamente, de forma concentrada ou dispersa de acordo com as atividades potencialmente geradoras de alterações.

Para abordar a qualidade de uma água, são utilizados diversos parâmetros que indicam as características físicas, químicas, biológicas e radioativas da mesma. Tais características são

oriundas de itens relevantes cuja análise é indispensável: os sólidos e os organismos presentes na água. Com base nas características físicas, os sólidos são classificados em (VON SPERLING, 2005):

- sólidos em suspensão: partículas com diâmetro superior a $10^0 \mu\text{m}$;
- sólidos coloidais: partículas com diâmetro entre 10^{-3} e $10^0 \mu\text{m}$;
- sólidos dissolvidos: partículas com diâmetro inferior a $10^{-3} \mu\text{m}$.

Observa-se que esta classificação é fruto apenas do tamanho das partículas. Com relação às características químicas, os sólidos são classificados em voláteis, que representam uma estimativa da matéria orgânica presente nos sólidos, e em não voláteis (fixos ou inertes), os quais representam uma estimativa da matéria inorgânica ou mineral. Isso se deve ao fato de que, quando submetidos a uma temperatura elevada, os sólidos possuem apenas sua fração orgânica volatilizada. Por fim, o conhecimento a respeito dos microrganismos presentes na água é essencial para prever os processos de depuração em corpos hídricos em função da decomposição da matéria orgânica, como também para evitar a transmissão de doenças devido ao contato com água contaminada.

Um conjunto de parâmetros de qualidade é utilizado quando se deseja definir um determinado padrão de qualidade da água. No item 3.2 deste TG, foi abordada a legislação que embasa a utilização dos recursos hídricos, seja para fins potáveis ou não potáveis e, na seção 2, foram apresentados os objetivos que delimitam o escopo deste TG. Dessa forma, considerando os aspectos em discussão sobre viabilidade do aproveitamento para fins não potáveis e potencial de aproveitamento para fins potáveis, faz-se necessário entender as peculiaridades de alguns parâmetros físico-químicos e microbiológicos, os quais são detalhados nos itens 3.3.1, 3.3.2 e 3.3.3, conforme Von Sperling (2005).

3.3.1 Parâmetros físicos

3.3.1.1 Cor

Atribuída à existência de sólidos dissolvidos, é responsável pela coloração na água. Naturalmente, é oriunda da decomposição da matéria orgânica e da presença de ferro e manganês. Antropogenicamente, sua origem está associada aos efluentes domésticos e industriais, sendo que, neste último caso, é possível garantir um alerta quanto à presença ou não de toxicidade desses efluentes. Além disso, o parâmetro cor permite avaliar o potencial de formação de produtos cancerígenos quando da cloração.

É importante salientar a diferença entre cor verdadeira e cor aparente. Para se obter a primeira, a turbidez da água deve ser removida, ou seja, a cor aparente engloba uma parcela originária da turbidez.

3.3.1.2 Turbidez

Atribui-se à existência de sólidos em suspensão e representa o grau de interferência quando da passagem da luz através da água. Sua origem natural está associada a partículas de rocha, argila e silte provenientes do intemperismo e a microrganismos. Por sua vez, o ser humano também contribui para a fração de sólidos em suspensão através dos despejos domésticos e industriais e por atividades que intensificam os processos de erosão. A presença de turbidez na água pode acarretar a redução de eficiência durante a desinfecção, bem como prejudicar a fotossíntese em corpos hídricos devido a uma menor penetração da luz. Além disso, também funciona como alerta para a existência de compostos tóxicos e organismos patogênicos.

3.3.1.3 Temperatura

A temperatura é uma grandeza que indica o grau de agitação das partículas de um sistema e desempenha papel fundamental no controle do meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físico-químicos e a sobrevivência dos organismos. Em corpos d'água naturais, observa-se estratificação vertical de temperatura, bem como variações sazonais e diurnas. A análise deste parâmetro, na maioria dos casos, é útil na identificação de despejos industriais ou outras anomalias.

3.3.2 Parâmetros químicos

3.3.2.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH representa a concentração de íons hidrogênio (H^+) na água. Indica, portanto, condições de acidez, neutralidade ou alcalinidade. Sua importância está associada à eficiência de diversas etapas do tratamento da água, ao potencial de corrosão ou incrustação nas tubulações e peças dos sistemas de abastecimento de água, ao equilíbrio da vida aquática e ao potencial indicativo da presença de efluentes industriais. No contexto do aproveitamento de águas pluviais, o pH representa um parâmetro de suma importância para identificar a

ocorrência de fenômenos como a chuva ácida, os quais comprometem a qualidade da água a ser utilizada, exigindo avaliações e tratamentos mais severos.

3.3.2.2 Cloro residual livre

Representa a presença de ácido hipocloroso e íon hipoclorito na água, resultantes da reação do cloro com a água e da dissociação do ácido hipocloroso. Tais compostos possuem ação oxidante e desinfetante, sendo utilizados, portanto, no processo de desinfecção. Quando há amônia ou compostos amoniacais, ocorre a formação de cloraminas, as quais também possuem ação desinfetante, e que compõem o cloro residual combinado. O cloro residual total é a soma do cloro residual livre com o cloro residual combinado.

3.3.2.3 Cloreto

O cloreto é o ânion Cl^- e está presente nos corpos d'água de forma natural, devido à dissolução de minerais e à intrusão de águas salinas, e antropogênica, através de despejos domésticos e industriais e águas utilizadas em irrigação. Em sistemas de abastecimento, a concentração de cloreto deve ser limitada, já que este íon confere sabor à água, podendo torná-la objetável ao consumo humano. A proximidade do mar garante a presença de cloretos na atmosfera devido aos efeitos da maresia.

3.3.2.4 Fluoreto

O fluoreto é o íon F^- e é normalmente encontrado em águas naturais, sendo as concentrações mais elevadas associadas a fontes subterrâneas. A atividade industrial também é responsável pela presença do fluoreto no água e no ar. Em sistemas de abastecimento, a fluoretação da água é, em geral, realizada, uma vez que determinada dosagem de fluoreto traz benefícios no que diz respeito à prevenção da cárie dentária.

3.3.2.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO é o parâmetro mais utilizado para a quantificação da matéria orgânica presente em um corpo d'água e do seu consequente potencial de poluição. Esta relação deve-se ao fato de que os microrganismos presentes nesses corpos d'água consomem o oxigênio dissolvido em seus processos metabólicos de estabilização da matéria orgânica. Assim, por fornecer

uma indicação do potencial de consumo do oxigênio dissolvido, a DBO retrata, de forma indireta, o teor de matéria orgânica.

3.3.2.6 Nitrato

O nitrato é uma das formas em que o nitrogênio está presente nos corpos d'água, assim como o nitrogênio orgânico, amoniacal e nitrito. A atmosfera é uma das principais fontes deste elemento na água devido a diversos mecanismos, tais como fixação biológica por bactérias e algas, fixação química e lavagem da atmosfera pela água de chuva. Por sua vez, os efluentes industriais e os esgotos sanitários constituem fontes antropogênicas dos compostos de nitrogênio na água. Especificamente, os nitratos são compostos tóxicos e causam uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, motivo pelo qual constituem um dos parâmetros para análise da potabilidade de uma água.

3.3.2.7 Sulfato

O sulfato é um íon que ocorre na atmosfera como partícula microscópica resultante da combustão de combustíveis fósseis e biomassas. A elevada acidez da água de chuva observada em determinadas regiões possui relação estreita com a presença deste íon na atmosfera. Devido à tendência de corrosão em sistemas de distribuição e ao fato de conferir sabor à água, o sulfato constitui um dos parâmetros para análise de potabilidade.

3.3.2.8 Fosfato

O fosfato é a forma sob a qual o elemento fósforo se apresenta em águas naturais, sendo sua origem associada principalmente às descargas de esgotos sanitários e efluentes industriais.

3.3.3 Parâmetros microbiológicos

A detecção de organismos patogênicos em uma amostra de água exige exames laboratoriais onerosos e é dificultada pelas pequenas concentrações de patógenos por unidade de volume. Para tentar superar essa dificuldade, são utilizados organismos indicadores de contaminação fecal a fim de avaliar o padrão microbiológico da água. Tais organismos são predominantemente não patogênicos, mas representam um indício de contaminação por fezes

humanas ou de animais. As bactérias do grupo coliforme são os organismos mais empregados para se obter uma indicação de contaminação fecal. Isso ocorre devido aos seguintes fatores:

- Grande parte das bactérias patogênicas intestinais apresentam resistência ligeiramente inferior aos coliformes, o que favorece a detecção de uma amostra imprópria sem estar contra a segurança ou demasiadamente a favor desta;
- As fezes humanas apresentam grande quantidade de coliformes, facilitando a detecção;
- Os mecanismos de remoção de organismos patogênicos e de coliformes são semelhantes;
- As técnicas laboratoriais de detecção são rápidas e econômicas.

Usualmente, os principais indicadores de contaminação fecal utilizados são: coliformes totais e coliformes termotolerantes.

3.3.3.1 Coliformes totais

Representam bactérias do grupo coliforme, não sendo exclusivamente fecais. Podem incidir em águas e solos não contaminados, uma vez que representam também outros organismos de vida livre (não intestinal). Segundo Bastos et al. (2000), os coliformes totais têm valor sanitário limitado na avaliação da qualidade de águas naturais. Assim, sua aplicação restringe-se à avaliação da qualidade da água tratada, uma vez que a detecção pode indicar ineficiência de tratamento, contaminação posterior ou presença de nutrientes em excesso.

3.3.3.2 Coliformes termotolerantes

São bactérias do grupo coliforme que resistem a elevadas temperaturas, não sendo necessariamente fecais. A principal bactéria do grupo dos coliformes termotolerantes é a *Escherichia Coli* (*E. coli*), de origem exclusivamente fecal. A detecção desse organismo é simples e ele está sendo predominantemente utilizado como indicador de contaminação por fezes humanas ou de outros animais.

3.4 Sistemas de aproveitamento de águas pluviais

No contexto do uso racional da água como elemento integrante da sustentabilidade, o aproveitamento de água de chuva insere-se na gestão da oferta no que diz respeito à utilização de fontes alternativas. De acordo com o manual de conservação e reúso de águas em edificações (ANA; FIESP; SINDUSCON-SP, 2005), a metodologia básica para projeto de sistemas de aproveitamento de águas pluviais contempla:

- determinação da precipitação média local (mm/mês);
- determinação da área de coleta;
- determinação do coeficiente de escoamento superficial;
- caracterização da qualidade da água pluvial,
- projeto do reservatório de descarte;
- projeto do reservatório de armazenamento;
- identificação dos usos da água (demanda e qualidade);
- estabelecimento do sistema de tratamento necessário;
- projeto dos sistemas complementares (grades, filtros, tubulações, dentre outros).

A Figura 7 apresenta a visão geral de um sistema de aproveitamento de águas pluviais.

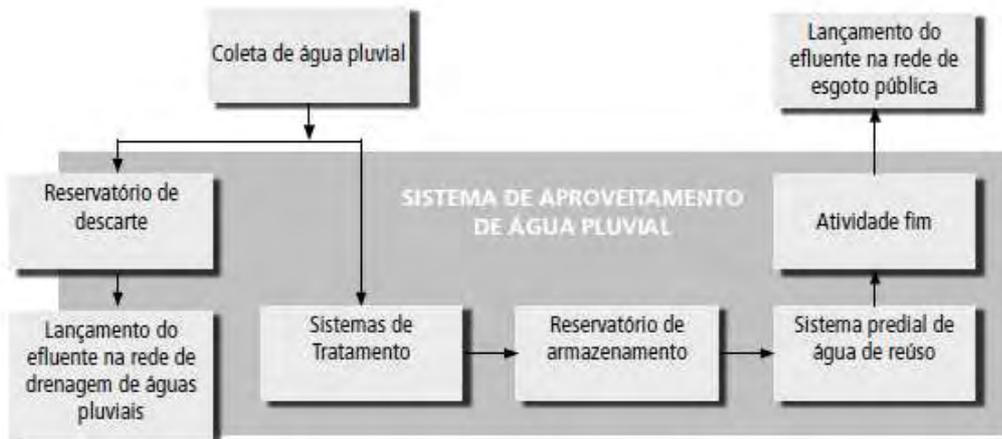


Figura 7 – Sistema de aproveitamento de águas pluviais

Fonte: ANA; FIESP; SINDUSCON-SP (2005)

3.4.1 Qualidade das águas pluviais

A qualidade da água pluvial é fator determinante em um projeto de aproveitamento desta fonte alternativa. A fim de garantir a confiabilidade do sistema e segurança para os

usuários, sua variação deve ser avaliada prioritariamente nos seguintes momentos: antes de atingir a superfície, após o escoamento superficial, durante o armazenamento no reservatório e no ponto de consumo.

A água de chuva é resultado da combinação entre as gotículas que formam as nuvens e as substâncias que a elas se incorporam durante a precipitação. Sua qualidade varia para cada situação devido a diversos fatores, tais como localização geográfica, condições meteorológicas, tipo de ocupação do solo, intensidade e duração da precipitação, período entre precipitações consecutivas, dentre outros. A atividade antrópica contribui significativamente na alteração da qualidade. May (2004) cita a poluição atmosférica, a chuva ácida, a deposição seca e a deposição úmida como alguns fenômenos responsáveis pelas variações encontradas. A chuva ácida, por exemplo, caracterizada pelo pH extremamente baixo da água de chuva, é típica de regiões com elevada atividade industrial geradora de carga poluidora. Nesse caso, a liberação para a atmosfera de alguns gases como o dióxido de enxofre e os óxidos nitrogenados resultam na formação de ácidos mais fortes que reduzem consideravelmente o pH. É importante observar que o pH da água pluvial é naturalmente ácido, resultado da formação de ácido carbônico a partir do gás carbônico atmosférico.

Assim como ocorre a incorporação de substâncias presentes na atmosfera quando a água de chuva precipita, o escoamento superficial em coberturas e solos também altera sua composição, uma vez que os detritos presentes na superfície são carregados. De acordo com May (2009), águas pluviais escoadas por pisos possuem qualidade inferior àquelas escoadas sobre coberturas, uma vez que, além de folhas, galhos, poeira e fezes de animais, há detritos oriundos da circulação de pessoas e veículos. No entanto, segundo pesquisas realizadas no contexto do projeto HIDROAER, os resultados indicaram que, em alguns aspectos, a água de chuva escoada sobre o pátio teve uma qualidade melhor do que aquela escoada sobre o telhado para o caso do AISP (SOUSA JÚNIOR et al., 2009). É importante ressaltar que, nesse caso, a análise foi feita considerando um cenário de simulação de chuva. A Tabela 1 apresenta os resultados da análise de qualidade da água de chuva obtidos por Sousa Júnior et al. (2009). Verifica-se que há necessidade de tratamento antes de qualquer utilização, mesmo tendo sido realizado descarte do escoamento inicial.

Tabela 1 – Qualidade da água de chuva escoada sobre pátio e pista no AISP

Parâmetros	Ensaio de simulação no telhado	Ensaio de simulação no pátio	Ensaio com chuva real no telhado	Classe 1*	Padrão NBR 15527**
pH	5,89	8,07	7,44	6,0 a 9,0	6,0 a 8,0
Turbidez (UT)	20,4	5,13	1,92	≤ 2	< 2 ou < 5
Cor (UH)	10 ^A	11	54	≤ 10	< 15
DBO (mg/L)	10 ^A	10 ^A	10 ^A	≤ 10	
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	-	-	-	≤ 20	
Nitrato (mg/L)	5,28	0,26	0,25	< 10	
Nitrito (mg/L)	0,05	0,042	< Lq	≤ 1	
Fósforo (mg/L)	1,08	< Lq	< Lq	≤ 0,1	
STS (mg/L)	86	42	7,0	≤ 5	
STD (mg/L)	65	170	4,0	≤ 500	
Coli. Termotolerantes (NMP/100 mL)	2,0x10 ⁴	Não detectado	47	Não detectável	-
Coli. Fecais (NMP/100 mL)	-	-	-	Não detectável	
Coli. Total (NMP/100 mL)	1,0x10 ³	Não detectado	5,4x10 ²	Não detectável	Ausente

Legenda: * Valores recomendados pelo Manual de Conservação e Reuso de Água em Edificações (2005) para águas de Classe 1, utilizadas para descarga sanitária, lavagem de pisos, veículos, roupas e fins ornamentais. ** Parâmetros de qualidade da água de chuva para usos restritivos não potáveis. Células destacadas: correspondem aos parâmetros em desacordo com as diretrizes comparadas. ^A: valor muito próximo ao recomendado.

Fonte: SOUSA JÚNIOR et al. (2009)

O tipo de material que compõe a cobertura também influencia a qualidade da água pluvial escoada. Segundo Tomaz (2003), a ordem decrescente de qualidade de material no que tange ao aspecto bacteriológico é: metal, fibrocimento, plástico e cerâmica.

Atualmente, diversos estudos tem sido realizados para avaliação da qualidade da água pluvial em diferentes pontos do sistema. May (2004) realizou a caracterização da água de chuva através da instalação de um sistema de coleta e aproveitamento no edifício do Centro de Técnicas de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e obteve que o descarte do escoamento inicial, bem como a retirada de material grosseiro, melhora a qualidade da água. Ainda, concluiu que o aproveitamento para fins não potáveis é viável, devendo-se realizar desinfecção devido à grande quantidade de bactérias encontradas. A Tabela 2 apresenta os resultados experimentais obtidos por May (2004).

Tabela 2 – Características da água pluvial

Parâmetros	Água coletada na tubulação			Reservatório
	Mínimo	Médio	Máximo	Médio
Cor (uH)	20	52,5	218	23,0
Turbidez (UNT)	0,6	1,6	7,1	0,8
Alcalinidade (mg/L)	4	30,6	60	18,8
pH	5,8	7,0	7,6	6,7
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	7,0	63,4	126,2	25,7
Dureza (mg/L)	4,0	39,4	68,0	19,6
Cálcio (mg/L)	ND	15,0	24,3	4,7
Magnésio (mg/L)	ND	1,1	2,2	0,5
Ferro (mg/L)	0,01	0,14	1,65	0,06
Cloretos (mg/L)	2,0	8,8	14,0	12,2
Sulfatos (mg/L)	2,0	8,3	21,0	5,1
ST (mg/L)	10	88	320	25
SST (mg/L)	2	30	183	2
SSV (mg/L)	0	15	72	2
SDT (mg/L)	2	58	177	24
SDV (mg/L)	0	39	128	24
OD (mg/L)	1,6	20	42	17,6
DBO (mg/L)	0,4	2,5	5,2	1,5
Nitrato (mg/L)	0,5	4,7	20	3,1
Nitrito (mg/L)	0,1	0,8	3,8	0,1
Coliformes totais ¹ em 100mL	<1	>70	>80	>65

NE = Não Especificado. ST = Sólidos Totais. SST = Sólidos Suspensos Totais. SSV = Sólidos Suspensos Voláteis. SDT = Sólidos Dissolvidos Totais. SDV = Sólidos Dissolvidos Voláteis. 1 = Presente em 89% das amostra. Coliformes fecais em 100 mL aparecem em média em 50% das amostras coletadas e em 30% no reservatório.

Fonte: MAY (2004)

Moruzzi e Murakami (2009) investigaram o efeito do tempo de armazenamento na qualidade da água pluvial, com cenários de descarte da precipitação inicial e aplicação de cloro sob a forma de hipoclorito de sódio. Os resultados experimentais indicaram que a água armazenada apresentou tendência corrosiva e que as bactérias heterotróficas foram resistentes à ação do tempo de armazenamento, sendo necessário, portanto, garantir a manutenção de cloro residual na água de chuva armazenada.

3.4.2 Tipos de tratamento

O tratamento a ser aplicado sobre a água de chuva coletada depende da qualidade da mesma, a qual varia segundo diversos fatores, como localização da edificação, tipo de material da cobertura, forma e tempo de armazenamento, assim como da aplicabilidade desejada.

A utilização da precipitação inicial para lavagem do telhado é internacionalmente reconhecida como primeira forma de redução da carga de contaminação em sistemas de

aproveitamento de água de chuva (MARTINSON e THOMAS, 2005). No entanto, ainda não há um acordo sobre a melhor quantificação do first flush, uma vez que a variabilidade das situações dificulta a convergência para um determinado valor. A NBR 15527 (ABNT, 2007) recomenda, na falta de dados, o descarte de 2 mm do escoamento inicial. Martinson e Thomas (2005) recomendam valores que variam entre 0 e 8,5 mm de acordo com a turbidez média inicial e a turbidez desejada. Segundo a American Rainwater Catchment Systems Association (2009), locais com contaminação baixa (com chuvas frequentes que mantêm a superfície do telhado limpa), média e alta (locais com alta concentração de detritos orgânicos devido a árvores e animais) devem adotar preferencialmente os valores de 0,5 mm, 2,0 mm e 8,0 mm, respectivamente. Dessa forma, pode-se observar que a realização de análise experimental para cada caso é a melhor opção para definir a quantidade de precipitação inicial a ser descartada em um projeto.

No entanto, apenas o descarte do escoamento inicial não é, em geral, suficiente para garantir o atendimento ao padrão de qualidade exigido para fins não potáveis. May (2009) investigou a utilização de filtros de areia de alta taxa e desinfecção com hipoclorito de sódio para tratamento da água de chuva, obtendo redução de 62% de cor aparente, 75,7% de turbidez, 100% de coliformes totais e de coliformes termotolerantes, o que permitiu o atendimento à NBR 15527 (ABNT, 2007) e às recomendações do manual de conservação e reúso de água em edificações (ANA; FIESP; SINDUSCON-SP, 2005), viabilizando o consumo para fins não potáveis. Murakami (2010) analisou o tratamento da água de chuva por meio de filtração direta com emprego de filtro de pressão e aplicação de solução de amido natural de milho como coagulante primário. Os resultados experimentais indicaram que, com o sistema implantado, foi possível reduzir o descarte do escoamento inicial em cerca de 85%, como também obter reduções médias de 30% e 54% para cor aparente e turbidez, respectivamente. Com relação aos coliformes termotolerantes, obteve-se redução de cerca de 30%. No entanto, nenhum parâmetro resultou em conformidade com a NBR 15527 (ABNT, 2007), revelando a necessidade de aprimorar o sistema, seja através da investigação de outras taxas de filtração ou meios filtrantes, e de realizar a desinfecção.

A utilização da água de chuva para fins potáveis exige tratamentos mais sofisticados, visto que é necessário atender ao padrão de potabilidade da Portaria nº518 (BRASIL, 2004). Para isso, faz-se necessário realizar análises laboratoriais mais complexas, com pesquisas de organismos patogênicos, a fim de assegurar que a água de chuva aproveitada não causará riscos à saúde humana.

4 Material e métodos

Para discutir o aproveitamento de águas pluviais no contexto das instalações militares do COMAER, utilizou-se como estudo de caso o PAMA-GL. Para a análise de viabilidade do aproveitamento nesta OM, primeiramente foi necessário realizar um estudo sobre a mesma, com o objetivo de obter dados indispensáveis para a análise, tais como perfil de consumo de água, instalações existentes e histórico de precipitações. Em seguida, foi feita a caracterização da qualidade da água pluvial, a fim de extrair parâmetros de projeto relacionados à eficiência de pré-tratamento, balizando a especificação do sistema de tratamento necessário para as aplicabilidades projetadas. Finalmente, realizou-se o dimensionamento dos principais componentes do sistema, com o objetivo de viabilizar a avaliação econômica do sistema proposto.

4.1 Estudo sobre o PAMA-GL

O PAMA-GL, localizado na Ilha do Governador no Rio de Janeiro, tem a função de garantir a disponibilidade de grande parte da frota de aeronaves da FAB. Dentre as atividades realizadas, destacam-se as revisões periódicas de grande porte, a fabricação e a recuperação de componentes e o apoio a unidades operadoras através do fornecimento de material e serviços técnicos. O PAMA-GL, cuja localização no complexo do Galeão é apresentada na Figura 8, conta com a seguinte infraestrutura:

- Áreas de suprimento e manutenção;
- Áreas de administração;
- Áreas de pessoal;
- Área hospitalar;
- Área esportiva.



Figura 8 – Localização do PAMA-GL no complexo do Galeão

4.1.1 Sistema de abastecimento de água

O Sistema Guandu é responsável por abastecer 85% do município do Rio de Janeiro, percentual no qual a região da Ilha do Governador está incluída (CEDAE, 2009). A rede de abastecimento de água do sítio aeroportuário do Galeão possui quatro ramais de adução de água potável da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE), como é possível verificar na Figura 9. O ramal de adução A-2, alinhado com a estrada de acesso às organizações militares do COMAER na região, abastece todas as edificações em seu entorno, inclusive o PAMA-GL (INFRAERO, 2005).



Figura 9 – Sistema de abastecimento de água da região do PAMA-GL

Fonte: INFRAERO (2005)

Internamente, o PAMA-GL possui seis reservatórios semi-enterrados e seis reservatórios elevados, que abastecem os diferentes setores da OM. A Tabela 3 apresenta as capacidades e os setores abastecidos para cada um deles.

Tabela 3 – Reservatórios do PAMA-GL

Edificação	Setor abastecido	Volume do reservatório inferior (L)	Volume do reservatório superior (L)	Subtotal (L)
E-028	Serviços técnicos gerais	200000	135000	335000
E-034	Prédio da administração	180000	50000	230000
E-035	Serralheria e solda	120000	15000	135000
E-036	Rancho	58000	10000	68000
E-043	Guarda	18000	20000	38000
E-044	Eletrônica	48000	24000	72000
Total (L)				878000

4.1.2 Perfil de consumo de água

Para definir o perfil de consumo de água no PAMA-GL e, conseqüentemente, poder realizar a previsão da demanda de água de chuva, foi necessário realizar um levantamento in loco sobre o histórico de volume consumido e sobre as atividades que demandam maior quantidade de água. A Tabela 4 apresenta os volumes de água consumidos mensalmente desde o ano de 2004, apresentados nas contas da CEDAE disponíveis para análise.

Com o acompanhamento da rotina do PAMA-GL, foi possível avaliar as principais atividades que podem utilizar água proveniente do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em sua realização. São elas:

- Lavagem de aeronaves;
- Descargas em bacias sanitárias;
- Lavagem de peças;
- Lavagem de pátios;

- Lavagem de viaturas.

Dentre essas atividades, a lavagem de aeronaves é aquela que apresenta a maior quantidade de detalhes no que diz respeito à sua execução e que, à primeira vista, constitui parcela significativa do consumo de água potável no âmbito das instalações militares do COMAER voltadas para operação/manutenção. Por esse motivo, foi necessário realizar um estudo para o conhecimento das especificidades desta atividade.

Tabela 4 – Histórico do consumo de água, em m³, no PAMA-GL

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Média
Janeiro	8167,5	6103,0	5933,0	8843,0	5984,0	4556,0	6638,0	6603,5
Fevereiro	6682,5	6664,0	3825,1	7375,0	6697,0	5451,0	5724,0	6059,8
Março	7920,0	7347,0	8712,0	8754,0	6369,0	5493,0	9449,0	7720,6
Abril	7672,5	6882,0	7661,8	8437,0	7106,0	3417,0	9662,0	7262,6
Mai	7920,0	7105,0	7929,0	8558,0	7322,0	3363,2	9244,0	7348,7
Junho	7425,0	9986,0	8464,0	7257,0	6756,0	5137,0	8516,0	7648,7
Julho	7425,0	8306,0	7464,6	6754,0	7086,0	8545,0	8553,0	7733,4
Agosto	7672,5	8083,0	8302,8	7504,0	7495,0	6963,0	5822,0	7406,0
Setembro	6930,0	7906,0	7290,6	6364,0	9097,0	7011,0	11273,0	7981,7
Outubro	7425,0	7036,0	7267,4	6803,0	8184,0	7461,0	7972,0	7449,8
Novembro	6684,7	8338,0	7900,8	6708,0	6736,0	6102,0	8390,0	7265,6
Dezembro	7920,0	8956,0	8033,0	5917,0	7914,0	5809,0	8574,0	7589,0

A lavagem de aeronaves é um dos métodos de limpeza utilizados para reduzir o efeito de corrosão e de deterioração provocadas pelas intempéries e que afetam a capacidade operacional dos equipamentos. A OTMA 1-1-1 do COMAER (1987) determina as situações em que é necessário efetuar a limpeza de uma aeronave. De acordo com o tipo de material e condições da superfície, quantidade de sujeira e tipo de ambiente, faz-se necessário utilizar diferentes técnicas de limpeza e, portanto, diferentes compostos de limpeza, tais como detergentes e solventes. Em grande parte dos casos, o procedimento de lavagem com água após a aplicação do produto é necessário. De acordo com a Tabela 1 da OTMA 1-1-1 (COMAER, 1987), todas as aeronaves sediadas a até 2 km da orla marítima devem ser lavadas somente com água, no mínimo uma vez a cada 15 dias, se não tiverem sido lavadas

com xampu. Esta determinação também se aplica a aeronaves que sejam destacadas para operações a até 2 km da orla marítima durante 10 dias ou mais. Além disso, a lavagem somente com água também deve acontecer ao término de operações de busca, salvamento e resgate a baixo nível (menos que 3000 pés) da superfície marítima, no caso de aeronaves sediadas a até 2 km da orla marítima. Para os demais casos, a determinação de lavagens diárias após operações a baixo nível da superfície marítima pode ser substituída por lavagens a cada 15 dias, exceto nos casos de busca, salvamento e resgate.

Segundo o item 6.2.1 da IMA 66-9 (COMAER, 1999), as agências principais, ou seja, os Parques de Material da Aeronáutica, devem definir um Programa Preventivo de Lavagem para as suas aeronaves, levando-se em consideração o tipo de voo e as condições ambientais, o qual deve ser incluído no Programa de Prevenção, Controle e Combate da Corrosão. O PAMA-GL atua em projetos das seguintes aeronaves: C-130, KC-137 e A-1. Dessa forma, quando sediadas no PAMA-GL, essas aeronaves devem fazer parte de um programa de lavagem com água a cada 15 dias, conforme a localização geográfica desta OM (COMAER, 1987). A OTMA 1-1-1 (COMAER, 1987) define ainda outras situações onde a lavagem com água faz-se necessária, inclusive com aeronaves de outras bases, o que evidencia o caráter impreciso da frequência de lavagens de uma determinada OM. Assim, percebe-se a necessidade de escolha de uma aeronave de projeto para realizar a quantificação do consumo de água por esta atividade.

No PAMA-GL, a lavagem de aeronaves e peças é feita com a utilização de duas bombas e de duas lavadoras de alta pressão Karcher modelo HD 12/15 S, sendo a vazão de cada máquina igual a 1200 L/h. Para o funcionamento das lavadoras, são necessários dois tanques de 200 L, os quais são abastecidos com a água da concessionária através das bombas.

No que diz respeito à lavagem de peças, pátios e viaturas, verificou-se a não existência de um perfil regular de consumo de água por esta atividade. Já no caso da descarga em bacias sanitárias, a quantificação do consumo foi realizada a partir do levantamento do efetivo que trabalha diariamente no PAMA-GL. Uma vez determinado o perfil de consumo de água das potenciais atividades a serem abastecidas pelo sistema de aproveitamento, foi possível realizar a previsão de demanda de água de chuva para o mesmo. Os resultados são apresentados no item 5.1.

4.1.3 Potencial de aproveitamento de água de chuva das instalações existentes

Devido à grande quantidade de hangares existentes no PAMA-GL e ao fato de os mesmos possuírem áreas de cobertura relevantes, observou-se o elevado potencial para o aproveitamento da água de chuva proveniente do escoamento superficial nas coberturas dessas edificações. Assim, foi feito um levantamento em campo para obter as dimensões das principais construções e, conseqüentemente, poder definir quais dessas possuem maior potencial de aproveitamento de suas coberturas. As edificações de maior porte observadas, as quais são apresentadas na Figura 10, foram:

- H 001 – Hangar principal de manutenção de aeronaves;
- H 002 – Hangar para depósito de equipamentos e material;
- H 003 – Hangar de manutenção de aeronaves;
- D 001 – Depósito da Divisão de Suprimento.

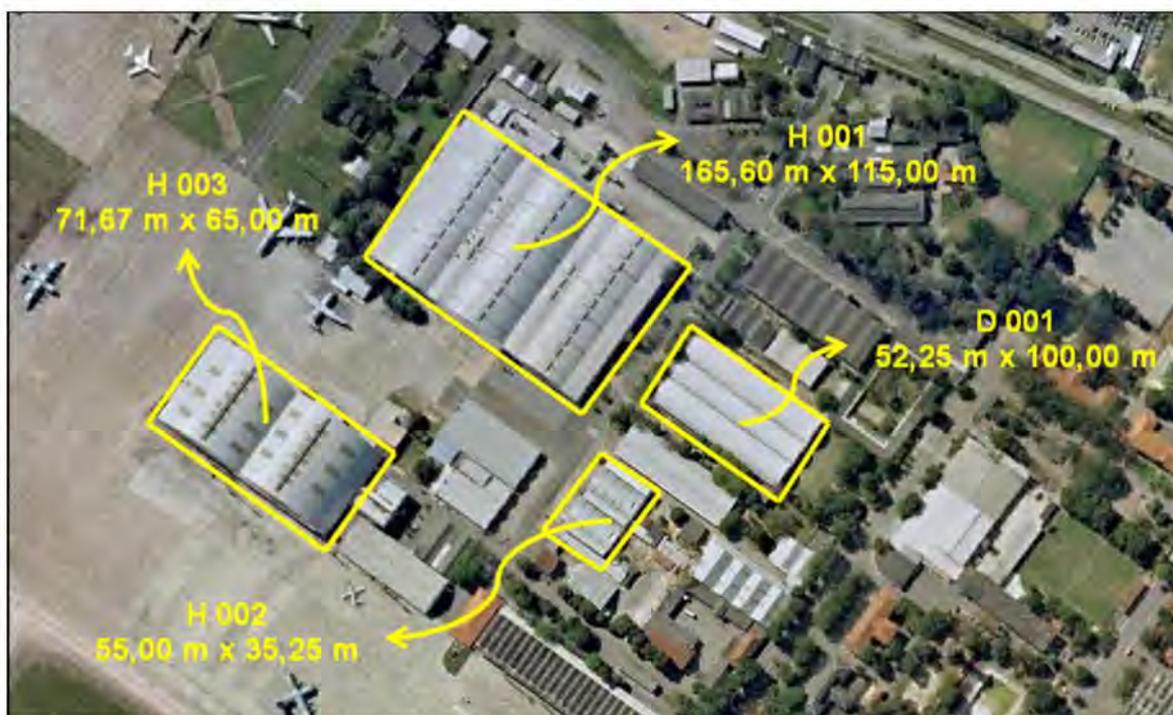


Figura 10 – Disposição das edificações potenciais do PAMA-GL

Ainda, em maio de 2009, foi aprovada a especificação de serviços para contratação dos projetos executivos para a construção do hangar de manutenção para duas aeronaves P3 no PAMA-GL, realizada pela Diretoria de Engenharia da Aeronáutica (DIRENG). Seguindo a metodologia implementada para codificação das edificações, este novo hangar foi denominado H 004. A Figura 11 mostra a localização do mesmo na OM.



Figura 11 – Localização do hangar do P3 projetado (H 004)

Através de plantas em papel existentes no PAMA-GL, foi possível visualizar a disposição das edificações e obter suas áreas de cobertura, as quais são apresentadas na Tabela 5. É importante observar que a área da cobertura em planta do hangar de manutenção do P3 (H 004) que será futuramente construído foi determinada considerando-se o estudo preliminar de arquitetura desenvolvido pela DIRENG. Além disso, vale salientar também que a Base Aérea do Galeão possui um hangar de manutenção idêntico ao hangar H 003 do PAMA-GL, situado ao lado do mesmo. Suas coberturas são integradas e, por isso, ambas as áreas foram consideradas para efeito do aproveitamento da água de chuva.

Tabela 5 – Área em planta de cobertura das principais edificações do PAMA-GL

Edificação	Área em planta de cobertura (m²)
H 001	19044,00
H 002	1938,75
H 003	4658,55
H 004	4794,40
D 001	5225,00

Para a tomada de decisão sobre quais edificações terão suas coberturas aproveitadas, utilizou-se o Processo de Análise Hierárquica (PAH). Segundo Saaty (1991), o método em questão permite a utilização de dados qualitativos e/ou quantitativos mensuráveis na análise

de critérios a fim de auxiliar no processo de decisão. Basicamente, os elementos do problema são decompostos em uma hierarquia e são feitas comparações binárias para estabelecer prioridades locais e globais de acordo com critérios pré-definidos.

No caso em questão, dois itens parecem ser extremamente relevantes para a decisão de se aproveitar ou não a água de chuva de uma determinada edificação. São eles: a área em planta da cobertura e a distância aproximada da edificação ao local onde será alocado o reservatório de águas pluviais. Quanto maior a área de cobertura, maior é o volume de água de chuva que pode ser aproveitado e, portanto, maior a economia de água potável, ao passo que, quanto maior a distância da edificação ao reservatório, maiores são os gastos com a implantação do sistema. Vale ressaltar que, caso as coberturas dos hangares não fossem todas do mesmo material (metal), poder-se-ia definir um terceiro critério, associado à qualidade do material de cobertura no que tange ao aspecto bacteriológico. A estruturação do problema em questão sob a forma de hierarquia é apresentada na Figura 12.

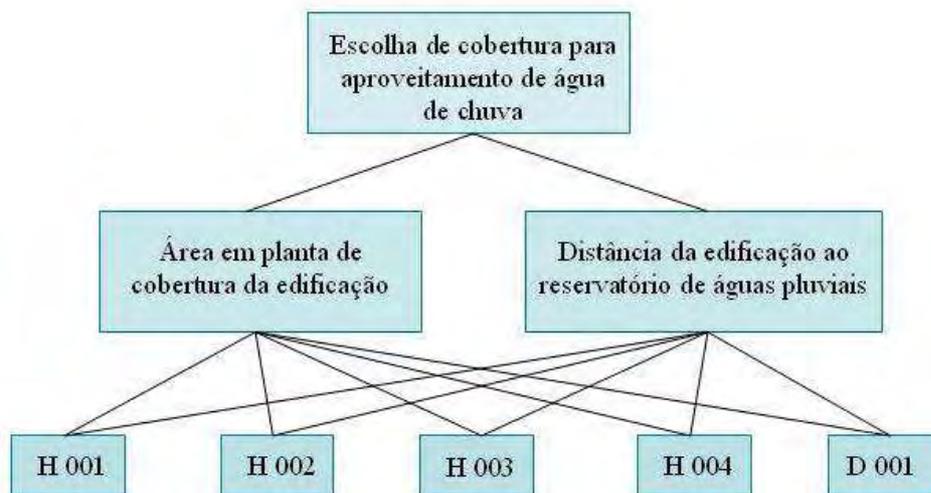


Figura 12 – Estrutura hierárquica do problema em questão

Observa-se facilmente que um ponto de importância fundamental para a aplicação do método é a definição preliminar de posicionamento do reservatório de águas pluviais. Para isso, faz-se necessário conhecer os locais de aplicabilidade da água de chuva aproveitada, a disponibilidade de área livre da OM, as características dos ambientes passíveis de receber o reservatório, bem como as edificações potenciais para implementação do sistema estudado. Nota-se que tal avaliação preliminar é subjetiva, mas permite que a escolha posterior seja feita de forma mais racional.

O estudo sobre o perfil de consumo de água no PAMA-GL revelou que grande quantidade de água potável é utilizada na atividade de lavagem de aeronaves e peças, sendo esta a principal aplicabilidade projetada para a água de chuva. Durante visita ao local, observou-se que a disponibilidade de área para implementar um reservatório de tamanho considerável é pequena e que o pátio situado entre os hangares H 001 e H 003 é o local destinado à lavagem de aeronaves e peças. Assim, pelas observações realizadas em campo, decidiu-se optar pela área apresentada na Figura 13 para fixar o reservatório de águas pluviais.

Uma vez determinado o posicionamento do reservatório de águas pluviais, foi feito um levantamento das distâncias aproximadas do centro dos hangares potenciais ao local do reservatório, as quais são apresentadas na Tabela 6, a partir da análise do plano diretor existente no PAMA-GL.



Figura 13 – Posicionamento do reservatório de águas pluviais

Tabela 6 – Distância das edificações ao local avaliado para fixação do reservatório

Edificação	Distância até o reservatório (m)
H 001	142,86
H 002	276,79
H 003	169,64
H 004	303,57
D 001	196,43

Tendo definido os critérios de análise e coletado as informações necessárias, foi possível aplicar o PAH para escolha de edificações. Para realizar as comparações binárias e definir as matrizes de preferências e a matriz de comparação de critérios, adotou-se a Escala Fundamental proposta por Saaty (1991), apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Escala de comparação do PAH

Valor Numérico	Nível de Preferência
1	Igualmente preferível
3	Moderadamente preferível
5	Fortemente preferível
7	Muito fortemente preferível
9	Extremamente preferível
2, 4, 6, 8	Valores intermediários

É importante observar que, a fim de validar o resultado obtido pelo PAH, faz-se necessário calcular a coerência de todas as hierarquias (matrizes binárias do problema com dimensão igual ou superior a 3x3), com o objetivo de assegurar a qualidade da informação. Assim, a razão de coerência (RC) para essas matrizes deve ser menor que 0,1. A RC é calculada pela Equação 1.

$$RC = \frac{IC}{IA} \quad (1)$$

Em que IC é o índice de coerência e IA é o índice aleatório, dado por um valor fixo para cada dimensão de matriz.

O índice de coerência (IC) pode ser obtido através da Equação 2.

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Em que n representa a dimensão da matriz e λ_{\max} é dado pela divisão da soma das componentes de um determinado vetor, obtido através da divisão do vetor total de entradas pelo vetor da média, pelo número de critérios.

Por sua vez, o vetor total de entradas é obtido através da multiplicação da matriz binária analisada pelo respectivo vetor da média. Os resultados da aplicação do PAH na escolha de edificações para o aproveitamento são apresentados no item 5.2.

4.1.4 Histórico de precipitações

Uma das informações mais importantes para o desenvolvimento de um projeto sobre aproveitamento de águas pluviais é o histórico de precipitações locais. Para que se tenha uma representação fidedigna da realidade, objetiva-se obter a maior quantidade possível de dados recentes de precipitação da estação meteorológica mais próxima da região estudada. Nesse sentido, a obtenção de dados diários deve ser priorizada, a fim de que a sazonalidade do fenômeno chuva esteja bem representada na série histórica utilizada.

Dessa forma, foram utilizados nesse TG dados de precipitação total diária da estação meteorológica do aeroporto do Galeão, no período de 2004 a 2010, disponibilizados pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo – ICEA – (2011) através de seu Banco de Dados Climatológicos. Para os dados não constantes no banco de dados do ICEA no período mencionado, utilizou-se a série histórica de precipitação diária da estação meteorológica Rio de Janeiro – RJ, monitorada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). No Apêndice A, apresenta-se a série histórica utilizada. É importante observar que, para os anos em que há dados ausentes na série histórica do ICEA, foi calculada a correlação entre as duas séries de dados, a fim de verificar a viabilidade de preenchimento desses dados com a série do INMET. Assim, para os anos de 2008 e 2010, obteve-se correlação de 0,83 e 0,96 entre as séries históricas do ICEA e do INMET, respectivamente, conferindo crédito à utilização de ambas as séries em complementaridade.

4.2 Caracterização da água pluvial

4.2.1 Tratamento empregado

Como já foi discutido, o primeiro tipo de tratamento comumente dado à água de chuva antes de seu aproveitamento é o descarte do escoamento inicial, o qual vem lavando a cobertura e carreando as impurezas da atmosfera. Apesar de internacionalmente reconhecido como primeira forma de melhoria da qualidade da água, há divergências sobre o valor ótimo

de precipitação inicial a ser descartada. Isso ocorre devido à grande quantidade de fatores intervenientes, como tipo de cobertura, localização geográfica, clima, dentre outros. Apesar de indicar um valor de 2 mm, a NBR 15527 da ABNT (2007) recomenda que, para cada situação, sejam feitas análises experimentais com o objetivo de determinar o first flush a ser empregado em projeto. Assim, dependendo do caso, é possível reduzir o descarte de água com qualidade já adequada ou ampliar a qualidade antes do tratamento propriamente dito, tornando-o mais barato e eficiente.

Em consequência, foi feita a caracterização da água de chuva do PAMA-GL para os seguintes valores de descarte inicial de precipitação: 0,0 mm, 0,5 mm, 1,0 mm, 1,5 mm, 2,0 mm e 5,0 mm. Para isso, foi necessário definir uma série de itens, como o ponto de coleta de água pluvial, o método de coleta, as análises físico-químicas e microbiológicas, dentre outros.

4.2.2 Determinação do ponto de coleta de água pluvial

A definição do ponto de coleta foi feita com base nos resultados da avaliação do potencial de aproveitamento das edificações da OM realizada a partir do PAH. Como os hangares H 001 e H 003 foram os escolhidos para o aproveitamento (conforme discutido no item 5.2) e possuem o mesmo tipo de cobertura (metálica), a coleta necessariamente deveria ser estabelecida em um ponto da rede de águas pluviais dos mesmos. Assim, foram analisadas as plantas baixas das redes de esgoto e de águas pluviais existentes desses hangares para determinar os candidatos potenciais, ou seja, aqueles que recebem contribuição de diversas partes da cobertura e que escoam um volume significativo de água pluvial capaz de viabilizar a coleta. Em seguida, foram feitas verificações in loco das caixas de areia e das caixas de passagem candidatas a fim de confirmar ou não uma possível contaminação por esgoto. Finalmente, cumpridos os três requisitos básicos (pertencer à rede de águas pluviais dos hangares H 001 ou H 003, escoar volume significativo e não permitir contaminação por esgoto), foi estabelecido o ponto de coleta de água pluvial para a realização da caracterização, o qual é apresentado na Figura 14. O mesmo é uma caixa de areia à jusante de um dos dois condutores verticais de água pluvial do hangar H 003, o qual é apresentado na Figura 15.



Figura 14 – Caixa de areia à jusante de um dos condutores verticais do H 003

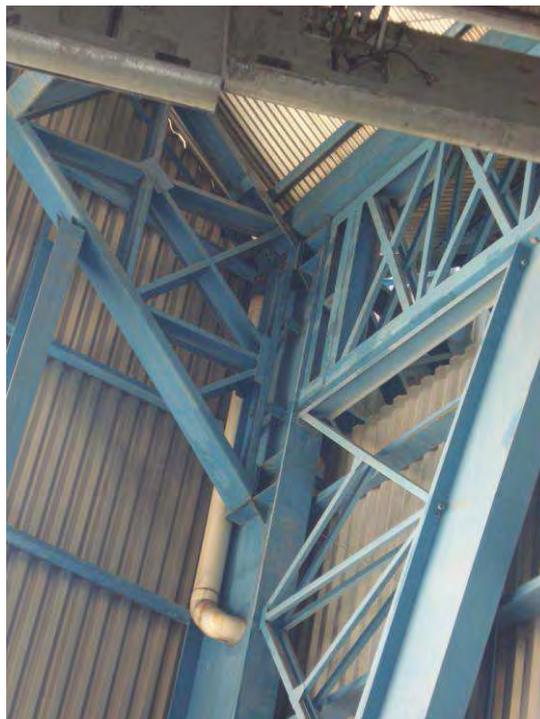


Figura 15 – Conductor vertical do hangar H 003

4.2.3 Métodos de coleta e de preservação de amostras

Primeiramente, foi necessário desenvolver um aparato experimental que viabilizasse a coleta para os respectivos valores de descarte de escoamento inicial da precipitação. Assim, criou-se um pluviômetro com uma proveta e um funil e, através de proporção entre as áreas das seções transversais da proveta e do funil, foi possível realizar marcações na proveta

correspondentes aos valores de first flush definidos para a caracterização. A Figura 16 apresenta o pluviômetro com as respectivas marcações. Para a coleta da água pluvial, utilizou-se o aparato apresentado na Figura 17.



Figura 16 – Pluviômetro com marcações indicativas do first flush



Figura 17 – Aparato utilizado na coleta de água pluvial

Para a realização das coletas, o pluviômetro foi posicionado em local aberto, distante de paredes e a certa altura do solo, conforme mostra a Figura 18. Para cada dia de precipitação, amostras de água de chuva em escoamento na tubulação da caixa de areia da Figura 14 eram coletadas nos instantes em que a lâmina d'água atingia as marcações pré-

definidas no pluviômetro. É importante observar que, para os casos em que a altura pluviométrica desejada não foi atingida, decidiu-se efetuar a última coleta ao término da precipitação. Por fim, a armazenagem e a preservação de amostras foram realizadas de acordo com a NBR 9898 (ABNT, 1987).



Figura 18 – Posicionamento do pluviômetro durante as coletas

4.2.4 Análises físico-químicas e microbiológicas

Após uma extensa revisão bibliográfica sobre os parâmetros de qualidade da água e sobre a legislação vigente com respectivos padrões de qualidade e valores de enquadramento, foram determinadas as seguintes análises físico-químicas e microbiológicas para a caracterização: turbidez, cor aparente, cor verdadeira, pH, cloreto, fluoreto, nitrato, sulfato, fosfato, DBO, coliformes totais e coliformes termotolerantes. Essa escolha foi feita considerando-se o escopo deste TG e a disponibilidade de laboratórios para a realização das análises. Com os resultados, pretende-se apontar a viabilidade do aproveitamento para fins não potáveis e indicar se há potencial de aproveitamento para fins potáveis.

Todas as análises foram realizadas no laboratório do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental (DSSA) da Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca (ENSP), unidade técnico-científica da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ). Os ensaios seguiram os

procedimentos preconizados no manual Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater editado por Clesceri et al. (1999).

4.2.5 Equipamentos utilizados para a realização das análises

4.2.5.1 Turbidímetro

O turbidímetro é o equipamento laboratorial utilizado para a medição da turbidez, ou seja, do grau de turvação, de um líquido. Uma vez que a turbidez está associada à presença de sólidos em suspensão, o funcionamento deste aparelho baseia-se na emissão de um feixe de luz através da amostra líquida e análise da concentração de partículas sólidas em suspensão no líquido a partir da reflexão do feixe de luz. A Figura 19 apresenta o turbidímetro HACH modelo 2100P utilizado nas análises de turbidez.



Figura 19 – Turbidímetro HACH modelo 2100P

4.2.5.2 Espectrofotômetro

O espectrofotômetro é um instrumento utilizado para medir e comparar a quantidade de energia radiante transmitida ou absorvida por uma determinada solução, a fim de determinar a concentração de soluto na mesma. Uma vez que a cor está associada à presença de sólidos dissolvidos, utilizou-se este equipamento para a determinação deste parâmetro físico. O funcionamento de um espectrofotômetro baseia-se na emissão de radiação a partir de uma fonte estável, com comprimento de onda pré-determinado através de um seletor de faixa

espectral, e medição da intensidade de luz que atinge o detector de radiação após a passagem do feixe por cubetas que contêm a amostra em análise. As análises de cor aparente e cor verdadeira foram feitas no espectrofotômetro HACH apresentado na Figura 20. Para a análise de cor verdadeira, utilizou-se um filtro Millipore Millex-HV 0,45 μm na filtração à vácuo da amostra.



Figura 20 – Espectrofotômetro HACH

4.2.5.3 pHmetro

O pHmetro é o equipamento utilizado para a medição do pH. Após a calibração do aparelho com soluções tampões de pH 7,0 e 4,0, realiza-se a imersão de um eletrodo na amostra em análise, o qual gera um valor de tensão que é convertido para uma escala de pH. Em conjunto, obtém-se também a temperatura da amostra. A Figura 21 apresenta o pHmetro Thermo Scientific Orion 3 Star utilizado nas medições de pH.



Figura 21 – pHmetro Thermo Scientific Orion 3 Star

4.2.5.4 Oxímetro

Utilizado para a medição de DBO de forma indireta, o oxímetro é um aparelho que indica a quantidade de oxigênio dissolvido em uma amostra em determinada temperatura. Consiste basicamente de um sensor com uma membrana seletiva que adsorve o oxigênio, tendo por base o seu raio de difusão molecular, devendo sempre ser calibrado antes do uso. Sob ação de uma diferença de potencial entre os eletrodos do sensor e na presença de oxigênio, gera-se uma corrente elétrica cuja intensidade é proporcional à concentração de oxigênio dissolvido dentro da membrana que, por sua vez, é proporcional ao oxigênio dissolvido da amostra onde o sensor está imerso. Para o cálculo da DBO, faz-se necessário obter o valor de oxigênio dissolvido no início da análise e após cinco dias, período no qual a amostra é armazenada em estufa com temperatura controlada. A diferença entre os valores inicial e final, feitas as correções de temperatura e demais correções, fornece a DBO. Utilizou-se o oxímetro Thermo Scientific Orion 3 Star para as análises de DBO, o qual é apresentado na Figura 22.



Figura 22 – Oxímetro Thermo Scientific Orion 3 Star

4.2.5.5 Cromatógrafo de íons

O cromatógrafo de íons é um equipamento destinado à determinação da concentração de determinados íons em uma amostra a partir da separação de misturas e identificação de seus componentes. Uma vez que cada analito apresenta um comportamento diferenciado entre a fase móvel e a fase estacionária devido a efeitos diversos, é possível ser feita a separação, identificação e quantificação. Sabendo-se os tempos de retenção associados a cada íon a partir da calibração com soluções padrão, facilmente se identifica o analito no cromatograma resultante, sendo sua quantificação realizada por simples processo de integração. A Figura 23

apresenta o cromatógrafo de íons Metrohm modelo 790 personal IC utilizado nas análises de fluoreto, cloreto, nitrato, fosfato e sulfato.

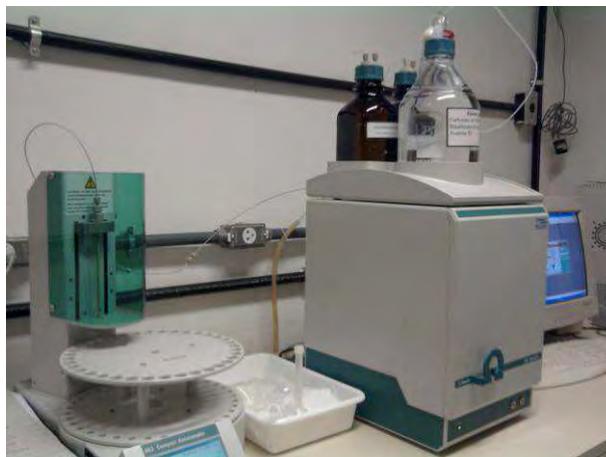


Figura 23 – Cromatógrafo de íons Metrohm modelo 790 personal IC

4.3 Métodos de dimensionamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais

Para realizar o dimensionamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais, foram utilizados métodos hidráulicos consagrados para os itens reservatório de auto-limpeza, condutores, bombas hidráulicas e unidades de tratamento. Para o caso do reservatório de acumulação, desenvolveu-se nova metodologia de dimensionamento.

4.3.1 Reservatório de acumulação

O dimensionamento do reservatório é uma das etapas mais relevantes no projeto de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, uma vez que é determinante na obtenção da viabilidade econômica. De acordo com o item 4.3.5 da NBR 15527 da ABNT (2007), o volume do reservatório deve ser dimensionado de acordo com critérios técnicos, econômicos e ambientais, podendo-se usar métodos já normatizados ou outros, desde que devidamente justificado.

Os métodos citados na NBR 15527 da ABNT (2007) são, em sua maior parte, empíricos, baseados em experiências internacionais. Dentre os métodos mais utilizados para o dimensionamento de reservatórios de água pluvial, destacam-se: Método Azevedo Neto, Método de Rippl e Método da Simulação. São citados ainda três outros métodos: Método

Prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano. O Método Azevedo Neto é um método empírico que leva em consideração a precipitação média anual e o número de meses de seca. Já o Método de Rippl baseia-se em séries históricas e fornece o volume de reservatório para garantir o atendimento completo da demanda a partir da regularização da vazão, sendo, na maioria dos casos, antieconômico. O Método da Simulação, por sua vez, baseia-se na equação da continuidade para um reservatório finito e é utilizado para verificar o comportamento do nível d'água em um reservatório de volume fixo. Dessa forma, ele é empregado apenas para verificação e não para cálculo do volume. Por fim, os Métodos Práticos Alemão e Inglês são também empíricos e levam em consideração a precipitação média anual, ao passo que o Método Prático Australiano assemelha-se ao Método da Simulação.

Assim como existem diversos métodos para dimensionamento do reservatório, também existe uma variedade de métricas para realizar a análise econômica de uma solução. Segundo Tomaz (2003), os três métodos básicos geralmente utilizados para a avaliação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais são: payback, análise do benefício-custo e análise do custo no ciclo de vida. É válido ressaltar que tais métodos constituem, na verdade, variantes da análise econômica essencialmente baseada no custo-benefício, apenas sob óticas diferenciadas de período de análise.

O cálculo do payback baseia-se na obtenção do tempo de retorno do investimento. Para isso, faz-se necessário determinar o quociente entre o custo de implantação do reservatório e o custo do volume de água que a concessionária deveria prover caso não fosse feito o aproveitamento. É um método simples, porém bastante utilizado para pré-estudos.

A análise do benefício-custo consiste em determinar o benefício anual e o custo anual do sistema de aproveitamento e verificar se o quociente entre os dois é maior ou igual a 1. O benefício anual é obtido levando-se em consideração a economia de água potável, ao passo que o custo anual envolve a amortização anual do custo do reservatório e o custo de operação (tratamento, limpeza e análises). A amortização anual de capital pode ser obtida através da Equação 3.

$$\text{Amortização anual} = \text{Capital} \times \frac{d(1+d)^n}{(1+d)^n - 1} \quad (3)$$

Em que n é o número de anos e d é a taxa de desconto.

Por fim, a análise do custo no ciclo de vida baseia-se na comparação do valor presente de duas alternativas mutuamente exclusivas. São elas: aproveitar ou não a água de chuva. Segundo Tomaz (2003), por possibilitar uma análise em longo prazo e no ciclo de vida do sistema como um todo, este método traz maior confiabilidade. É importante observar que o termo ciclo de vida vem ganhando conotação mais abrangente recentemente, principalmente na área ambiental, englobando não só o produto durante sua vida útil, como também todo o processo desde a extração da matéria-prima para sua fabricação até a disposição final. Apesar disso, neste trabalho, utilizou-se o termo ciclo de vida como referência ao período projetado de funcionamento do sistema, ou seja, a sua vida útil. Para a avaliação econômica de todo o sistema de aproveitamento de águas pluviais, deveriam ser analisados os seguintes parâmetros: troca de bombas após determinado tempo, energia elétrica, tratamento, limpeza, análises físico-químicas e microbiológicas, projeto, dentre outros. No entanto, em se tratando apenas do dimensionamento do reservatório, faz-se necessário analisar somente: custo de implantação, custo contingencial, custo de operação e manutenção e custo do suprimento de água potável por parte da concessionária quando o sistema de aproveitamento não é capaz de atender completamente à demanda. Para obter o valor presente das alternativas, são utilizadas as Equações 4 e 5.

$$VPR = \sum_{t=0}^n \frac{F_t}{(1+d)^t} \quad (4)$$

Em que VPR é o valor presente simples, F_t representa o investimento pontual no tempo t e d representa a taxa de desconto.

$$VPRU = \sum_{t=0}^n \frac{A_0}{d(1+d)^t} \quad (5)$$

Em que VPRU é o valor presente uniforme, A_0 é o investimento anual no período de n anos e d representa a taxa de desconto.

Na tentativa de estabelecer soluções mais embasadas técnica e economicamente, alguns estudos tem sido realizados para aprimorar os métodos de dimensionamento de reservatório de acumulação de águas pluviais. Moruzzi et al. (2010) estabeleceram uma análise racional para o dimensionamento baseada em eficiências de atendimento e de aproveitamento, demanda de água de chuva e tempo de retorno para diferentes cenários.

Assim como no método da simulação, utilizou o balanço de massa. Além disso, foram introduzidas duas novas variáveis:

- Eficiência de atendimento (E_a): Quociente entre o volume total de chuva consumido e a demanda total;
- Eficiência de aproveitamento (E_h): Quociente entre o volume total de chuva consumido e o volume total de chuva aproveitável.

Para a análise econômica, foi utilizado o payback, o qual se baseia, conforme citado anteriormente, na obtenção do tempo necessário para que o custo de implantação do reservatório seja pago dada a economia de água potável. Analisando-se o funcionamento de um reservatório de volume previamente fixado por meio das variáveis definidas no método, Moruzzi et al. (2010) obtiveram que os parâmetros E_a e E_h convergem para um mesmo valor quando a demanda é máxima, ponto tal em que o payback é mínimo. Por outro lado, dado um valor fixo de demanda de água de chuva, os parâmetros E_a e E_h tendem a aumentar e convergir para um valor máximo quando se varia o volume do reservatório. Assim, a análise do comportamento desses parâmetros conduz a uma escolha mais racional do volume do reservatório. Internacionalmente, a verificação do comportamento de um reservatório de volume pré-fixado com relação a características da edificação também é utilizada como forma de racionalizar o dimensionamento do sistema de captação de água de chuva, como mostram Coombes e Kuczera (2003) e Rahman et al. (2007) em suas análises de performance.

Outras técnicas de dimensionamento também já foram estudadas e desenvolvidas. Dornelles et al. (2010) introduziram coeficientes de redução de precipitação média anual de forma a evitar o comportamento deficitário do reservatório e aumentar a confiabilidade do sistema, enquanto Mierzwa et al. (2007) propuseram a priorização do máximo aproveitamento de água pluvial no período mais chuvoso em detrimento da regularização de vazão, o que permite ampliar o potencial de redução de demanda de água tratada da concessionária e obter menores volumes de reservatório. Gomes et al. (2010) utilizaram um critério financeiro baseado no valor presente para o dimensionamento do reservatório de águas pluviais. Variando o volume do reservatório manualmente, os custos das alternativas de atendimento parcial da demanda por aproveitamento de água de chuva e de atendimento completo da demanda por água tratada da concessionária foram obtidos e comparados, sendo o volume ótimo definido pelo menor custo observado da alternativa de aproveitamento. No entanto, a variação manual do volume do reservatório para a obtenção dos custos associados torna-se exaustiva na prática, principalmente quando se deseja aumentar a precisão dos resultados. Por fim, Liaw e Tsai (2004) propuseram a otimização do dimensionamento do reservatório a

partir da análise do balanço de massa para cada combinação entre área de cobertura e capacidade de acumulação, a fim de atingir um valor de confiabilidade pré-definido. Para isso, foi proposta a determinação das curvas isoquanta de confiabilidade do sistema e isocusto, sendo o ponto de tangência entre as mesmas indicativo da combinação ótima de variáveis, ou seja, aquela que fornece o menor custo para atender um determinado valor de confiabilidade.

Apesar de existirem análises mais racionais no que diz respeito ao dimensionamento, percebe-se a não existência de nenhum método consagrado que possibilite ao projetista obter o volume ótimo do reservatório de forma automática a partir de alguns parâmetros de entrada, considerando-se os aspectos técnico e econômico. Dessa forma, este TG teve como um dos objetivos estabelecer um método, baseado na equação da continuidade para um reservatório finito e na análise racional de Moruzzi et al. (2010), capaz de determinar automaticamente o volume de reservatório ótimo para uma demanda fixa de água de chuva.

O método proposto para a obtenção do volume ótimo de reservatório foi a minimização do custo no ciclo de vida da opção de captação de água de chuva. Para realizar a análise econômica, decidiu-se optar pela análise do custo no ciclo de vida em detrimento do payback, uma vez que o último não engloba o custo do suprimento de água potável necessário por parte da concessionária quando o sistema de aproveitamento de águas pluviais não é capaz de atender completamente à demanda. De acordo com Roebuck e Ashley (2006) e Ward et al. (2010), o detalhamento do modelo hidráulico e a utilização de uma análise de custo durante o ciclo de vida do sistema são essenciais na obtenção de resultados mais realistas, uma vez que a utilização de modelos simplificados tendem a superestimar a eficiência hidráulica e a subestimar os custos associados ao sistema. É importante observar que, ao internalizar o custo do suprimento de água potável, não é necessário analisar os parâmetros de eficiência de atendimento e aproveitamento, já que os mesmos estão embutidos no valor presente da opção de captação de água de chuva.

De acordo com o método da simulação (TOMAZ, 2003), o balanço diário de massa líquida no reservatório ao longo de um ano é dado pela Equação 6:

$$S_t \quad \blacksquare \quad (6)$$

Em que S_t representa o volume do reservatório no tempo t , em m^3 , S_{t-1} representa o volume do reservatório no tempo $t-1$, em m^3 , V_{p_t} é o volume de chuva aproveitável, em m^3 , e D_t é a demanda diária, em m^3 .

Por sua vez, o volume de chuva aproveitável pode ser obtido através da Equação 7:

$$V_{p_t} = \begin{cases} A \cdot P_t \cdot C \cdot (1 - ff) \\ (V_R + S_{t-1} - D_t), \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (7)$$

Em que P_t é a precipitação diária, em mm, A é a área de coleta, em m^2 , C é o coeficiente de runoff e ff é o first flush, em m^3 .

Para a elaboração do método, foram desenvolvidas as Equações 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 e 17, as quais determinam o balanceamento de massa no sistema, relacionando-o com o aspecto econômico.

$$S_{t-1} = \begin{cases} 0 \\ (V_R + S_{t-2} - D_{t-1}), \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (8)$$

$$S_t = \begin{cases} (V_R + S_{t-1} - D_t) \\ ((V_{p_t} + S_{t-1} - D_t), \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (9)$$

$$O_{v_t} = \begin{cases} ((V_{p_t} + S_{t-1} - D_t - V_R), \text{ caso contrário} \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} - D_t > V_R \quad (10)$$

Em que O_{v_t} é a quantidade de chuva a ser descartada no tempo t e V_R é o volume do reservatório.

$$V_{c_t} = \begin{cases} M \\ V_R, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (11)$$

Em que V_{c_t} é a quantidade de chuva consumida no tempo t e M é dado pela Equação 12.

$$M = \begin{cases} D_t \\ (V_{p_t} + S_{t-1}), \text{ caso contrário} \end{cases} \geq D_t \quad (12)$$

$$\text{Supr}_t \quad (13)$$

Em que Supr_t é o suprimento de água fornecido pela concessionária no tempo t e X_t e Y_t são dados, respectivamente, pelas Equações 14 e 15.

$$X_t = \begin{cases} -(V_n + S_{t-1} - D_t), & \text{caso } V_n + S_{t-1} - D_t < 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (14)$$

$$Y_t = \begin{cases} (D_t - V_{c_t} - X_t), & \text{se } V_{c_t} + X_t \leq D_t \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (15)$$

$$\text{VPR}_{\text{chuva}} \left(C_m + C_{\text{ap}} \times \sum_{t=1}^{365} \text{Supr}_t \right) \times \frac{(1+d)^{T_u} - 1}{d(1+d)^{T_u}} \quad (16)$$

Em que $\text{VPR}_{\text{chuva}}$ é o valor presente da opção de captação de água de chuva, em R\$, C_i é o custo de implantação do reservatório, em R\$, C_{om} é o custo de operação e manutenção do sistema de aproveitamento de águas pluviais, em R\$, C_{ap} é o custo do metro cúbico de água potável fornecida pela concessionária, em R\$, e T_u é a vida útil do sistema de aproveitamento de águas pluviais, em anos.

$$\text{VPR}_{\text{concessionária}} \left(\sum_{t=1}^{365} (\text{Supr}_t + V_{c_t}) \right) \times \frac{(1+d)^{T_u} - 1}{d(1+d)^{T_u}} \quad (17)$$

Em que $\text{VPR}_{\text{concessionária}}$ é o valor presente da opção de não captar a água de chuva, em R\$.

Apesar de a motivação inicial de um dos objetivos deste TG estar relacionada à inexistência de um método que otimize o dimensionamento do reservatório de acumulação, há duas situações de interesse quando se deseja projetar um sistema de aproveitamento de águas pluviais. Na situação mais comum, tem-se a demanda de água de chuva, obtida através do levantamento do perfil de consumo na edificação, e deseja-se obter o volume do reservatório necessário para atender a essa demanda de forma eficiente. No segundo caso, dado um reservatório de volume fixado, deseja-se projetar uma demanda para determinada atividade de tal forma que o custo com o abastecimento para tal atividade seja o menor possível.

Para o primeiro caso, foram utilizadas ferramentas da pesquisa operacional, conforme Taha (2008), a fim de otimizar o dimensionamento do reservatório. Dessa forma, com a predefinição da demanda de água de chuva e do tempo de vida útil do sistema de aproveitamento de águas pluviais, foi estabelecido o seguinte problema:

Minimizar VPR_{chuva}

$$\text{S.A.} \begin{cases} V_R \geq 0 \\ \sum_{t=1}^{365} D_t \leq \sum_{t=1}^{365} Vp_t \end{cases}$$

Para o segundo caso, a minimização do custo no ciclo de vida não pode ser feita, uma vez que isso conduziria a uma demanda nula. Assim, foi necessário estabelecer um novo problema, de forma a obter a demanda que otimize a eficiência do sistema. Para isso, foi analisado o comportamento de variáveis como volume de chuva consumido, suprimento de água por parte da concessionária, eficiência de atendimento e eficiência de aproveitamento e notou-se que, em um sistema eficiente, o volume de chuva consumido deve ser máximo e o suprimento deve ser mínimo. Em consequência, foi estabelecido o problema de maximização da diferença entre o volume anual de chuva consumido e o suprimento anual de água por parte da concessionária. Logo, para a segunda situação, tem-se o seguinte problema:

$$\text{Maximizar } \sum_{t=1}^{365} Vc_t - \sum_{t=1}^{365} \text{Supr}_t$$

$$\text{S.A.} \begin{cases} D_t \geq 0 \\ \sum_{t=1}^{365} D_t \leq \sum_{t=1}^{365} Vp_t \end{cases}$$

Para determinar o volume ótimo do reservatório de acumulação para o sistema de aproveitamento de água pluviais do PAMA-GL, desenvolveu-se um programa de dimensionamento no software Excel, utilizando Visual Basic for Applications (VBA), baseado no método elaborado. O código do programa é apresentado no Apêndice B. Como parâmetros de entrada, foram definidos: histórico de precipitações diárias durante 30 anos, demanda diária, em m³, área de captação, em m², taxa de desconto, preço do metro cúbico de água potável, em R\$, vida útil do sistema, em anos, coeficiente de runoff e first flush, em mm. Para determinar o custo do reservatório de água de chuva, consultou-se o Informativo SBC (2011), a fim de obter preços diferenciados de reservatórios de concreto armado de acordo

com a capacidade. Com isso, foi possível construir uma função de custo, sendo o volume a variável independente, por meio de regressão linear. A Equação 18 representa a função de custo utilizada no programa, com R^2 igual a 0,93.

$$\text{Custo} = \text{[REDACTED]} \quad (18)$$

É válido observar que o custo de implantação do reservatório englobou o custo do reservatório em si e o custo contingencial (projeto, instalação, dentre outros), o qual foi considerado como 30% do custo do reservatório, valor que Tomaz (2003) recomenda, de acordo com análises empíricas. Da mesma forma, o custo de operação e manutenção foi considerado como 6% do custo do reservatório.

O funcionamento do programa baseia-se no carregamento dos dados de precipitação e posterior dimensionamento a partir da resolução de problemas de programação matemática pela ferramenta Solver. Para cada ano da série histórica de precipitação diária, o novo método é aplicado, sendo o volume ótimo global do reservatório definido como o máximo entre os ótimos obtidos para cada ano. Assim, evitou-se a utilização de valores médios de precipitação diária, o que poderia reduzir drasticamente a confiabilidade. Como saída, obtém-se, então, o volume ótimo do reservatório para os parâmetros de entrada definidos, ou seja, aquele que minimiza o custo no ciclo de vida.

4.3.2 Reservatório de auto-limpeza

O reservatório de auto-limpeza é o elemento do sistema responsável por descartar o primeiro fluxo de água de chuva, o qual vem lavando o telhado e carreando as impurezas da atmosfera. Segundo May (2004), existem diversas técnicas para o descarte da água de limpeza do telhado. Dentre as técnicas mais simples e econômicas, destacam-se: reservatório provido de orifício e reservatório provido de torneira de bóia.

No reservatório provido de orifício, a água de chuva escoar primeiramente para o reservatório de volume conhecido, correspondente ao descarte inicial de projeto, e é descartada parcialmente pelo orifício. Como a vazão no orifício é pequena, o nível d'água vai subindo até que, uma vez completado o volume da caixa de auto-limpeza, a água de chuva começa a escoar para o reservatório de acumulação. Nessa situação, a quantidade de água de chuva descartada é um pouco maior do que o volume da caixa de auto-limpeza, em função da

ocorrência da descarga no orifício durante o processo. Já no reservatório provido de torneira de bóia, inicialmente a caixa de auto-limpeza recebe a chuva e o nível d'água sobe até a posição limite (calculada em função do descarte inicial adotado em projeto), implicando no fechamento automático da torneira de bóia. Em consequência, a água de chuva passa a escoar para o reservatório de acumulação. Para esvaziar o reservatório de auto-limpeza, é necessário que o mesmo seja provido de um registro de descarte, o qual deve ser aberto após o término da chuva. Nessa situação, o volume de chuva descartado é exatamente igual ao volume da caixa de auto-limpeza. Em contrapartida, a operação é de menor praticidade, pois depende da abertura manual do registro de esvaziamento do reservatório a cada fenômeno de precipitação.

Em ambas as situações, o volume do reservatório de auto-limpeza depende do first flush adotado em projeto e pode ser calculado pela Equação 19.

$$V_{RAL} = (C \times A \times ff) \times 10^{-3} \times A \quad (19)$$

Em que V_{RAL} é o volume do reservatório de auto-limpeza, em m^3 , A é a área de coleta, em m^2 , C é o coeficiente de runoff e ff é o first flush, em m^3 .

Para o reservatório provido de orifício, pode-se realizar o dimensionamento da tubulação de esvaziamento a partir da Equação 20, a qual descreve o fenômeno de descarga em orifício, conforme Azevedo Neto (1998).

$$Q_o = C_d \times A_o \times (2 \times g \times h)^{0,5} \quad (20)$$

Em que Q_o é a vazão no orifício, em m^3/s , A_o é a área da seção do orifício, em m^2 , C_d é o coeficiente de descarga, g é a aceleração da gravidade, em m/s^2 , e h é a altura média da lâmina d'água, em m .

A vazão no orifício pode ser obtida através do quociente entre o volume do first flush e o tempo de escoamento, o qual deve ser adotado de forma a viabilizar o descarte para cada precipitação e reduzir a diferença entre o volume real descartado e o projetado. Por fim, a água de chuva descartada pode ser encaminhada para a rede de águas pluviais existente ou pode ser realizada a infiltração da mesma no solo, o que depende de avaliação geotécnica do subsolo.

4.3.3 Calhas e Condutores

O dimensionamento de calhas e condutores do sistema de aproveitamento de águas pluviais foi feito em conformidade com a NBR 10844 (ABNT, 1989). A vazão de projeto para o dimensionamento de calhas e condutores pode ser obtida através da Equação 21.

$$Q = \frac{C \times I_p \times A_c}{60} \quad (21)$$

Em que Q é a vazão de projeto, em L/min, I_p é a intensidade pluviométrica para determinado período de retorno, em mm/h, e A_c é a área de contribuição, em m^2 , a qual leva em consideração a inclinação da cobertura.

Para o dimensionamento de calhas, foi utilizada a fórmula de Manning-Strickler (AZEVEDO NETO, 1998), conforme a Equação 22.

$$Q = \frac{S_m}{\nu} \times R_H^{2/3} \times i^{1/2} \quad (22)$$

Em que K é um constante que, nesse caso, vale 60000, S_m é a área da seção molhada, em m^2 , ν é o coeficiente de rugosidade, R_H é o raio hidráulico, em m, e i é a declividade da calha, em m/m.

O dimensionamento de condutores verticais pode ser feito a partir de ábacos existentes na NBR 10844 (ABNT, 1989), os quais levam em consideração a vazão de projeto, a altura da lâmina d'água na calha e o comprimento do condutor vertical. Por fim, para o dimensionamento de condutores horizontais de seção circular, utilizou-se novamente a fórmula de Manning-Strickler. Segundo Metcalf e Eddy (1981), o diâmetro do condutor horizontal pode ser obtido diretamente da Equação 23.

$$Q = \frac{K'}{\nu} \times \phi^3 \times i^{1/2} \quad (23)$$

Em que K' é uma constante que depende da razão entre a altura da lâmina d'água e o diâmetro da tubulação, ϕ é o diâmetro da tubulação, em m, e i é a declividade do condutor, em m/m.

4.3.4 Sistema elevatório

Em um sistema de aproveitamento de águas pluviais, bombas hidráulicas são comumente necessárias para recalcar a água de chuva do reservatório de acumulação inferior para o reservatório superior ou quando a profundidade de algum elemento atinge valor elevado, passando a exigir grandes volumes de escavação. O dimensionamento da bomba envolve a determinação dos diâmetros das tubulações de recalque e de sucção e a determinação da potência da bomba propriamente dita.

Para calcular o diâmetro da tubulação de recalque, utilizou-se a Equação 24. De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 1998), a canalização de sucção e do extravasor deve possuir um diâmetro comercial superior (ϕ_{suc}) ao da canalização de recalque.

$$\phi_{rec} = 1,3 \cdot \sqrt[4]{\frac{x}{24}} \cdot \sqrt{Q_r} \quad (24)$$

Em que ϕ_{rec} é o diâmetro da tubulação de recalque, em m, x representa o número de horas trabalhadas por dia e Q_r é a vazão de recalque, em m^3/s .

É importante observar que, para calcular a vazão de recalque, deve-se determinar o volume de água de chuva a ser recalcado diariamente, bem com o tempo de funcionamento do conjunto moto-bomba.

Para dimensionar o conjunto moto-bomba, faz-se necessário obter primeiramente a altura manométrica total, correspondente à soma do desnível a ser vencido com as perdas de carga introduzidas pela tubulação, conforme a Equação 25.

$$H_{man} = H_R + H_S + H_{PCR} + H_{PCS} \quad (25)$$

Em que H_{man} é a altura manométrica, H_R é o desnível vencido pela tubulação de recalque, H_S é o desnível vencido pela tubulação de sucção, H_{PCR} é a perda de carga na tubulação de recalque e H_{PCS} é a perda de carga na tubulação de sucção.

Sabendo-se o comprimento das tubulações de recalque e de sucção e as perdas localizadas introduzidas pelos respectivos acessórios, foi possível obter a perda de carga nessas tubulações através da fórmula de Fair-Whipple-Hsiao (AZEVEDO NETO, 1998) para aço galvanizado, a qual permite calcular a perda de carga unitária, conforme a Equação 26.

$$J = 0,002021 \frac{Q_r^{1,88}}{\phi^{4,88}} \quad (26)$$

Em que J é a perda de carga unitária, em m/m, Q_r é a vazão, em m³/s, e ϕ é o diâmetro, em m.

Por fim, para determinar a potência do conjunto moto-bomba, utilizou-se a Equação 27.

$$P = \frac{\gamma \cdot Q_r \cdot H_{\text{man}}}{75 \cdot \eta} \quad (27)$$

Em que P é a potência do conjunto moto-bomba, em HP, γ é o peso específico da água, em kg/m³, Q_r é vazão, em m³/s, H_{man} é a altura manométrica total, em m, e η é o rendimento do conjunto.

4.3.5 Unidades de tratamento

Em sistemas de aproveitamento de águas pluviais, além do pré-tratamento de descarte da precipitação inicial, faz-se necessário especificar outros tipos de tratamento capazes de viabilizar o aproveitamento da água de chuva para as finalidades projetadas. Como foi mencionado nos itens 3.4.1 e 3.4.2, a qualidade da água pluvial, em geral, dispensa a necessidade de coagulação, motivo pelo qual se utilizam apenas mecanismos de filtração e desinfecção como tratamento subsequente ao first flush. Para a filtração, podem ser empregados filtros lentos de areia, filtros comerciais de vazões pré-definidas, geotêxteis, dentre outras opções. Para a desinfecção com cloro, a utilização de bombas dosadoras ou de cloradores por contato são as opções mais empregadas. Como este TG não envolveu ensaios de tratabilidade e como a NBR 15527 da ABNT (2007) exige a manutenção de um residual desinfetante, optou-se pelo método de desinfecção mais conhecido e empregado devido a esta exigência, ou seja, a cloração. No entanto, é importante ressaltar que estudos sobre alternativas de desinfecção com ozônio ou radiação ultravioleta tem sido feitos e devem ser aprofundados no sentido de analisar a viabilidade econômica e a eficiência das mesmas, apesar de estas opções não deixarem residual desinfetante.

Para o projeto do sistema de aproveitamento de águas pluviais do PAMA-GL, foram confrontadas as seguintes formas de tratamento no que diz respeito à filtração: filtro lento de areia, filtro comercial e geotêxtil. Segundo Di Bernardo et al. (1999), a filtração lenta tem sido

usada no tratamento da água para abastecimento público desde o começo do século XIX e uma de suas principais vantagens é a elevada eficiência na remoção de bactérias, vírus e cistos de *Giardia*. Este processo de tratamento não requer a adoção de coagulante, trabalha com taxas de filtração baixas e utiliza meio filtrante de granulometria fina. O principal mecanismo de remoção de partículas é a adsorção no biofilme aderido ao meio filtrante, revelando a importância da maturidade desta camada biológica, a qual é denominada “shmutzdecke”. A Figura 24 apresenta um arranjo típico de filtro lento com nível d’água variável. Dependendo da carga hidráulica disponível para a retenção de impurezas, da espessura do meio filtrante e do sistema de drenagem, a altura total da caixa do filtro varia entre 2 e 3 m.

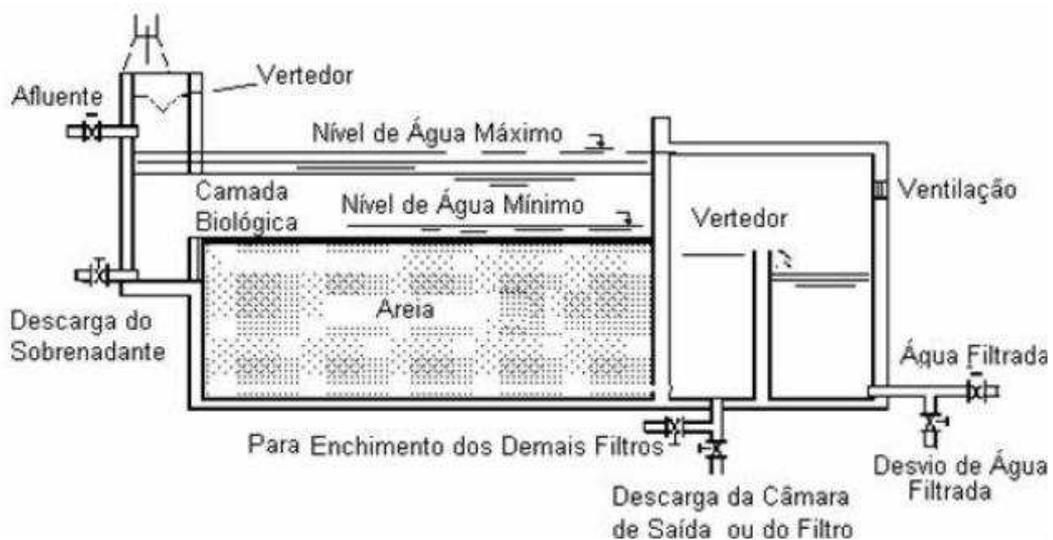


Figura 24 – Arranjo típico de filtro lento com nível d’água variável

Fonte: Di Bernardo et al. (1999)

Segundo Di Bernardo et al. (1999), os valores máximos recomendáveis de turbidez e de cor da água a ser tratada por filtração lenta são 10 uT e 5 uH. Atualmente, recomendam-se valores menos restritivos de cor verdadeira, de até 15 uH. Para o bom funcionamento do filtro lento de areia, a máxima taxa de filtração adotada deve ser de 6 m³/m².dia. No entanto, para águas com turbidez maior que 5 uT, Di Bernardo et al. (1999) recomendam a utilização de taxas entre 3 e 5 m³/m².dia.

Segundo Di Bernardo et al. (1999), a área total em planta do filtro lento pode ser obtida através da Equação 28 e o número de filtros retangulares pode ser estimado a partir da Equação 29.

$$A_f = \frac{Q}{t_f \cdot a + b} \quad (28)$$

Em que A_f é a área do filtro, em m^2 , Q é a vazão média diária de projeto, em m^3/dia , t_f é a taxa de filtração, em $m^3/m^2.h$, a é o número de horas por dia de filtração normal a taxa t_f e b é uma constante que depende da utilização de taxa declinante ou não.

$$N = \frac{\sqrt[3]{A_f}}{2} \quad (29)$$

Em que A_f é a área total em planta, em m^2 , e N é o número de filtros em paralelo.

5 Resultados e discussão

5.1 Previsão de demanda de água de chuva

No item 4.1.2, através do levantamento do perfil de consumo de água do PAMA-GL, foram identificadas potenciais atividades consumidoras de água de chuva. Assim, para a determinação da demanda de projeto do sistema de aproveitamento de águas pluviais, foi feita a quantificação do consumo usual de água potável por essas atividades.

Dentre as aeronaves frequentemente lavadas no PAMA-GL, tem-se que o C-130 é aquela com maior frequência de lavagem e que demanda maior quantidade de água, conforme mapas de lavagem disponibilizados pelo Agente de Corrosão desta OM. Por este motivo, esta aeronave foi escolhida como a de projeto. Verificou-se que o tempo médio de lavagem para o C-130 é de cinco horas. Em consequência, o sistema de aproveitamento de águas pluviais foi projetado de forma a atender uma lavagem por dia de C-130 com tempo de lavagem de cinco horas. Com a atuação das duas lavadoras de alta pressão, estimou-se um consumo diário para a atividade de lavagem igual a 12 m³.

Se a quantificação da demanda usual de água para a lavagem de aeronaves sofreu com a imprecisão da frequência de lavagens, a lavagem de peças, pátios e viaturas tem um caráter aleatório que gera ainda maior dificuldade na previsão do consumo. Sabendo-se que as lavadoras também são utilizadas nessa atividade, projetou-se o sistema de aproveitamento de águas pluviais de forma a atender o funcionamento diário das mesmas durante duas horas, seja para a lavagem de peças, pátios ou viaturas. Assim, obteve-se um consumo médio diário de 4,8 m³ para esta atividade.

Para projetar o consumo de água por descargas em bacias sanitárias, foi necessário obter primeiramente o efetivo que trabalha diariamente no hangar H 001. Considerando o total de 423 pessoas com uma margem de segurança de 5% devido a variações do efetivo e presença de empresas contratadas para manutenção, 3 usos por dia e gasto de 6 L de água por uso, estimou-se o consumo de água em bacias sanitárias do hangar H 001 em 8 m³/dia.

Considerando-se as atividades descritas anteriormente, definiu-se que o sistema de aproveitamento de águas pluviais deve ser capaz de atender uma demanda diária de 24,8 m³.

É válido observar que este valor possui uma margem de segurança elevada, permitindo que a água de chuva aproveitada seja utilizada em outras atividades eventuais ou até mesmo em atividades futuras, desde que a exigência de qualidade da água torne esta utilização viável.

Por fim, com o objetivo de analisar o sistema atual de abastecimento, foi feita uma previsão do consumo de água potável para todo o PAMA-GL. Sabendo-se que o efetivo desta OM é de aproximadamente 1000 pessoas e considerando um consumo per capita de 150 L por dia, previsto para edificações do tipo quartel segundo Botelho e Ribeiro Júnior (1998), obtém-se um consumo mensal de 4500 m³. Considerando ainda que as duas lavadoras atuem diariamente durante 7 horas, obtém-se um consumo mensal total de 5004 m³. Assim, ao se analisar o histórico de consumo de água no PAMA-GL durante os anos de 2004 a 2010, verifica-se uma diferença entre os valores estimados e medidos, o que pode ser justificado pelas condições climáticas do local, as quais tendem a aumentar o consumo, e por vazões concentradas não definidas (sistemas de condicionamento de ar, ranchos, postos de saúde e outros). Portanto, é importante caracterizar as vazões concentradas do sistema de abastecimento visando estimar as perdas com maior precisão para posterior identificação e reparo, uma vez que a gestão da demanda é tão importante quanto a gestão da oferta na busca pelo uso racional da água.

5.2 Escolha de edificações para o aproveitamento

Conforme a metodologia apresentada no item 4.1.3, utilizou-se o PAH na escolha de edificações para o aproveitamento de água de chuva. Considerando os critérios definidos no item 4.1.3 para o problema questão, primeiramente, foram realizados cálculos matemáticos para verificar a percentagem maior de aproveitamento, devido à área, e de economia, devido à distância, de uma opção em relação à outra, para cada conjunto de duas edificações. Para cada faixa de valores de percentagem, atribuiu-se um valor numérico associado à Escala Fundamental, como mostram as Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Níveis de preferência para o critério área

Faixa de percentagem	Valor numérico associado
Menor ou igual a 10%	1
10% - 50%	2
50% - 100%	3
100% - 150%	4
150% - 200%	5
200% - 250%	6
250% - 300%	7
300% - 350%	8
Maior ou igual a 350%	9

Tabela 9 – Níveis de preferência para o critério distância

Faixa de percentagem	Valor numérico associado
Menor ou igual a 10%	1
10% - 20%	2
20% - 30%	3
30% - 40%	4
40% - 50%	5
50% - 60%	6
60% - 70%	7
70% - 80%	8
Maior ou igual a 80%	9

Realizando-se, então, as comparações binárias, foi possível obter as matrizes de comparação entre as diferentes edificações para cada critério, como mostram as Tabelas 10 e 11. Por meio da normalização dessas matrizes e do cálculo da média de cada critério, foi possível obter a matriz de preferências, a qual é apresentada na Tabela 14. As Tabelas 12 e 13 apresentam as matrizes de comparação normalizadas.

O mesmo procedimento de comparação binária foi realizado para os critérios adotados. As Tabelas 15 e 16 apresentam, respectivamente, a matriz de comparação entre os critérios e sua normalização.

Tabela 10 – Matriz de comparação entre edificações para o critério área

	H 001	H 003	D 001	H 004	H 002
H 001	1	8	7	7	9
H 003	1/8	1	½	1	4
D 001	1/7	2	1	1	5
H 004	1/7	1	1	1	4
H 002	1/9	¼	1/5	1/4	1

Tabela 11 – Matriz de comparação entre edificações para o critério distância

	H 001	H 003	D 001	H 004	H 002
H 001	1	2	4	9	9
H 003	1/2	1	2	8	7
D 001	1/4	½	1	6	5
H 004	1/9	1/8	1/6	1	1
H 002	1/9	1/7	1/5	1	1

Tabela 12 – Matriz de comparação normalizada para o critério área

	H 001	H 003	D 001	H 004	H 002	Média
H 001	0,657	0,653	0,722	0,683	0,391	0,621
H 003	0,082	0,082	0,052	0,098	0,174	0,097
D 001	0,094	0,163	0,103	0,098	0,217	0,135
H 004	0,094	0,082	0,103	0,098	0,174	0,110
H 002	0,073	0,020	0,021	0,024	0,043	0,036

Tabela 13 – Matriz de comparação normalizada para o critério distância

	H 001	H 003	D 001	H 004	H 002	Média
H 001	0,507	0,531	0,543	0,360	0,391	0,466
H 003	0,254	0,265	0,271	0,320	0,304	0,283
D 001	0,127	0,133	0,136	0,240	0,217	0,171
H 004	0,056	0,033	0,023	0,040	0,043	0,039
H 002	0,056	0,038	0,027	0,040	0,043	0,041

Tabela 14 – Matriz de preferências

Edificação	Critério área	Critério distância
H 001	0,621	0,466
H 003	0,097	0,283
D 001	0,135	0,171
H 004	0,110	0,039
H 002	0,036	0,041

Tabela 15 – Matriz de comparação entre critérios

	Critério área	Critério distância
Critério área	1	2
Critério distância	½	1

Tabela 16 – Matriz de comparação entre critérios normalizada

	Critério área	Critério distância
Critério área	0,667	0,667
Critério distância	0,333	0,333

Finalmente, o resultado final foi obtido através da multiplicação da matriz de preferências apresentada na Tabela 14 pelo peso de cada critério. A Tabela 17 apresenta a matriz de preferências global.

Tabela 17 – Resultado final da aplicação do PAH

Edificação	Resultado final
H 001	0,570
H 003	0,159
D 001	0,147
H 004	0,086
H 002	0,038

A fim de validar o resultado obtido e assegurar a qualidade da informação, foi necessário calcular a RC para as matrizes das Tabelas 10 e 11. A Tabela 18 apresenta o resultado dos cálculos realizados para a avaliação da coerência. Como RC resultou menor que 0,1, validou-se o resultado obtido.

Tabela 18 – Resultados da avaliação da razão de coerência

	λ_{\max}	IC	IA	RC
Matriz de comparação para o critério área	5,25	0,06	1,12	0,05
Matriz de comparação para o critério distância	5,10	0,03	1,12	0,02

De acordo com os resultados da Tabela 17, tem-se que o hangar H 001 apresenta o maior potencial para o aproveitamento, seguido pelos hangares H 003, D 001, H 004 e H 002, respectivamente. Em uma análise preliminar, verificou-se que, para uma área total acima de 22000 m², o aproveitamento de água de chuva é capaz de atender mais do que 20% do consumo de água do PAMA-GL. Levando-se em consideração as atividades potenciais para o aproveitamento, as quais são abastecidas pelo reservatório E-028, adotou-se como condição de contorno para o problema uma área mínima de 22000 m². Desta forma, foram escolhidos os hangares H 001 e H 003 para análise neste TG.

5.3 Resultados da caracterização da água pluvial

Seguindo a metodologia descrita no item 4.2, foram feitas quatro coletas de amostras de água de chuva no PAMA-GL, cujos registros são apresentados no Apêndice C. Não foi possível obter amostras para o descarte de 5,0 mm, uma vez que, ao término da precipitação nos quatro dias considerados, foram atingidas apenas as seguintes alturas pluviométricas, respectivamente: 1,5 mm, 2,0 mm, 4,4 mm e 2,5 mm. No dia 27/05/2011, não foi possível coletar amostras sem o descarte do escoamento inicial de precipitação devido a problemas com o aparato experimental, uma vez que o forte fluxo de água rompeu a estrutura suporte. Os resultados de todas as análises realizadas podem ser visualizados no Apêndice D.

A partir da caracterização da água pluvial para os diferentes valores de descarte inicial considerados, foi possível realizar comparações no que diz respeito ao aspecto de qualidade e, conseqüentemente, definir parâmetros de projeto, como o first flush e algumas especificidades do tratamento. Observou-se que chuvas de maior intensidade tem maior poder de limpeza do telhado do que chuvas de menor intensidade, indicando que o controle do descarte inicial pelo tempo de escoamento pode ser inapropriado e que a utilização de volumes elevados de descarte pode ser ineficiente em função do pequeno comprometimento da qualidade final da água nas situações em que ocorre redução da intensidade da chuva durante o processo.

Verificou-se que o descarte do escoamento inicial efetivamente contribuiu na redução dos valores de cor aparente, cor verdadeira e turbidez em todas as coletas, como mostram as Figuras 25, 26 e 27. Na 3ª coleta, notou-se um pequeno aumento desses parâmetros comparando-se os descartes de 2,0 mm e 4,4 mm, o que pode ser explicado pela redução da intensidade da chuva após a coleta correspondente ao descarte de 2,0 mm. Isso corrobora o fato de chuvas de maior intensidade possuírem maior potencial de limpeza do telhado.

Analisando-se a Figura 28, observa-se que a água de chuva apresentou natureza ácida em todos os casos. O pH se mostrou bastante baixo, o que pode indicar a presença do fenômeno de chuva ácida na região. Como todos os valores obtidos foram menores que 6,0 (limite inferior da faixa de enquadramento prevista na NBR 15527 (ABNT, 2007) e na Portaria nº 518 (BRASIL, 2004), verifica-se a necessidade de ser realizada correção de pH antes da utilização da água de chuva.

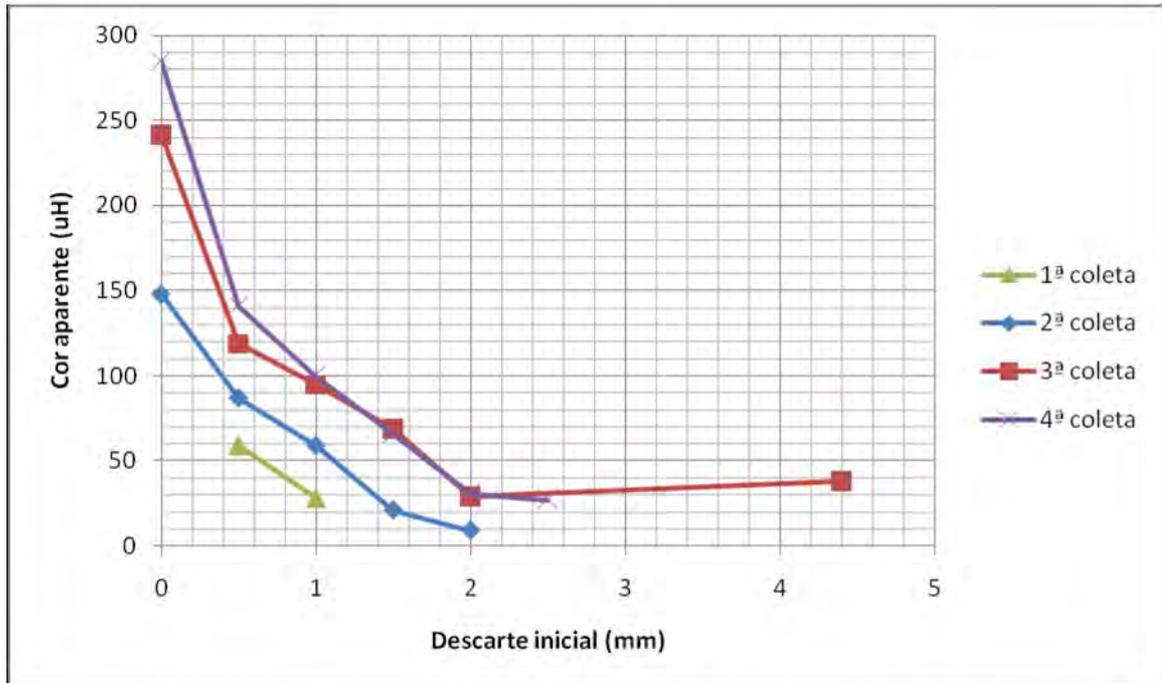


Figura 25 – Gráfico de cor aparente para cada descarte inicial considerado

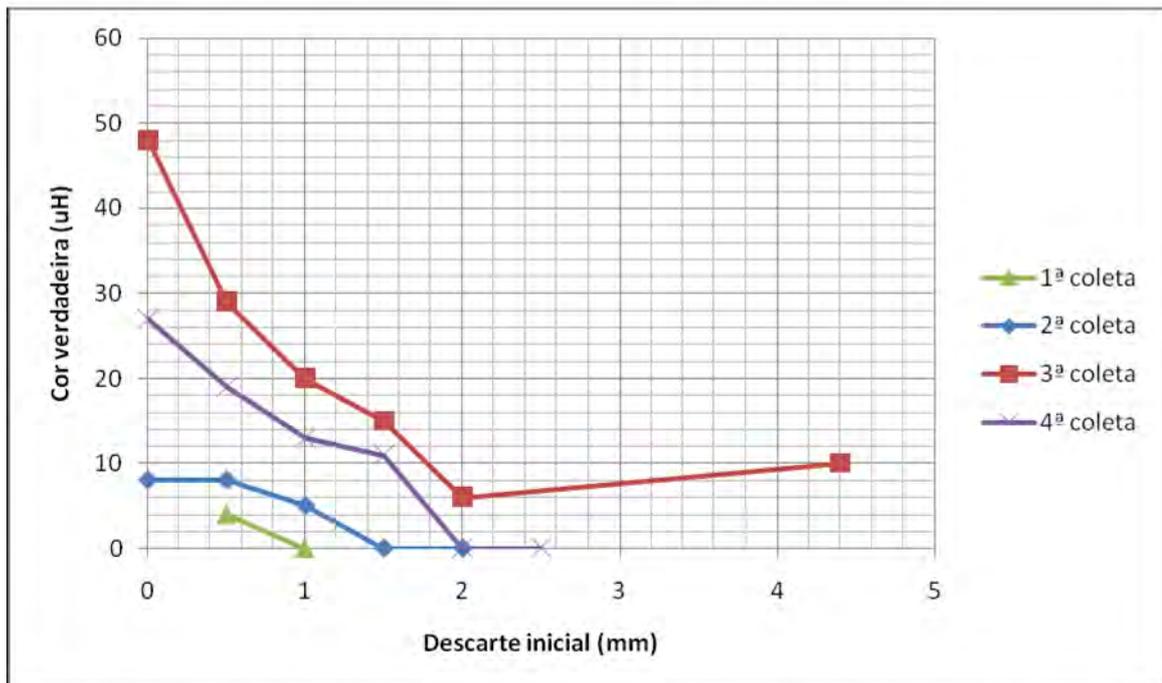


Figura 26 – Gráfico de cor verdadeira para cada descarte inicial considerado

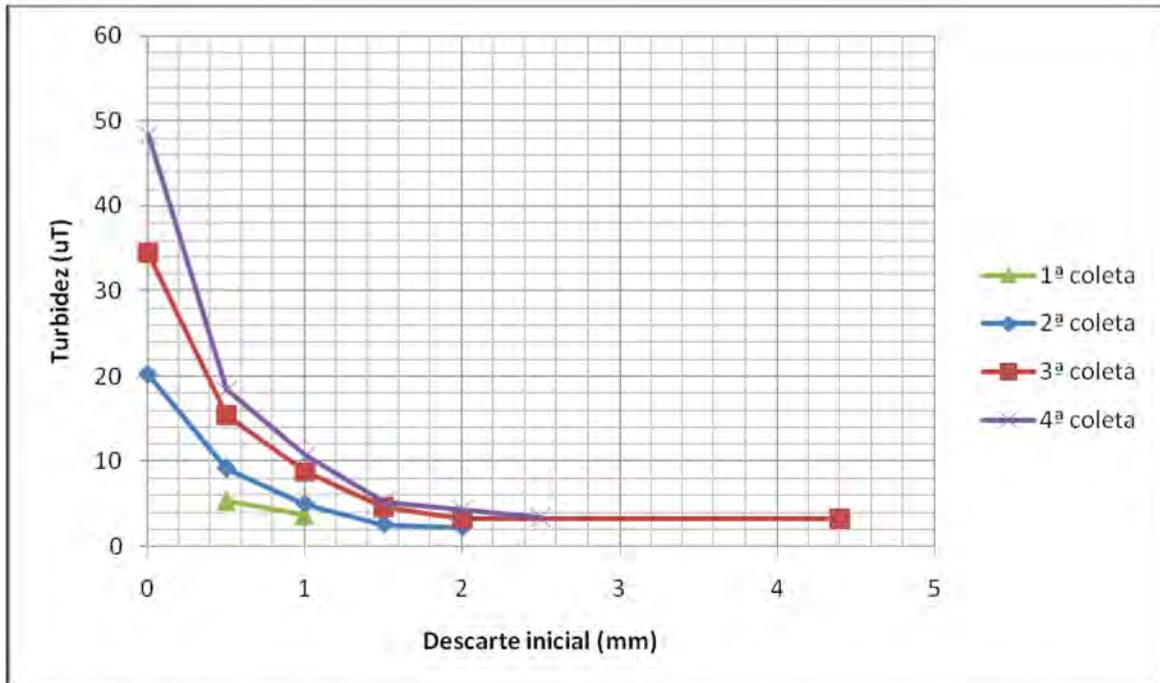


Figura 27 – Gráfico de turbidez para cada descarte inicial considerado

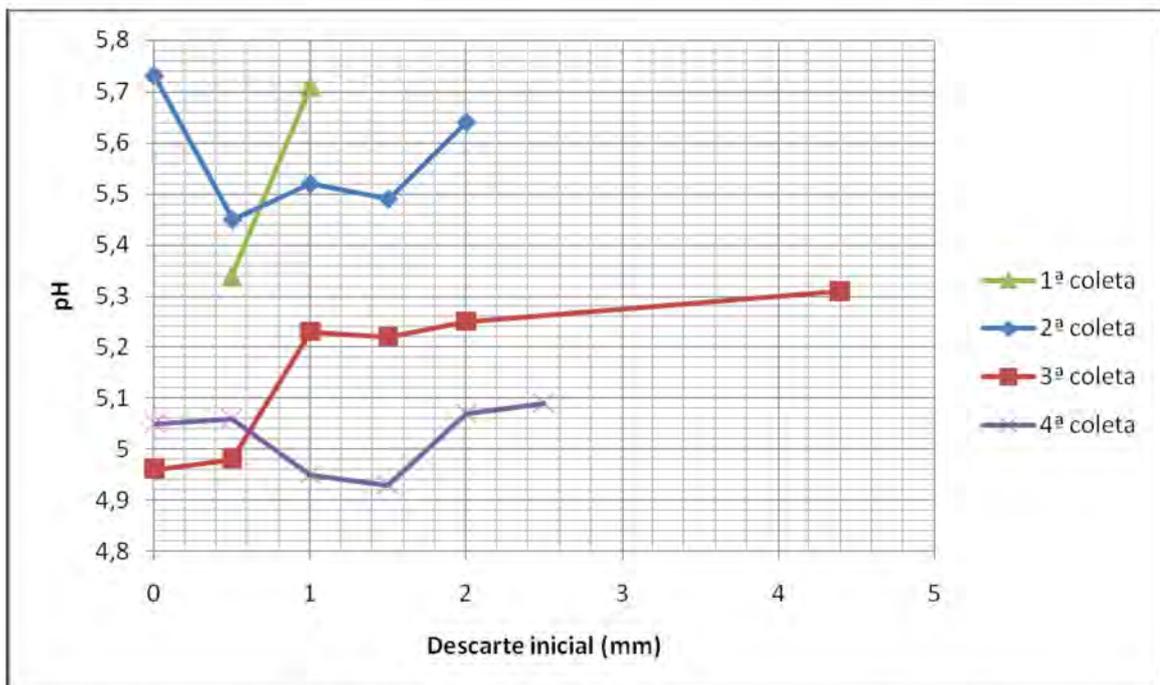


Figura 28 – Gráfico de pH para cada descarte inicial considerado

À exceção da 2ª coleta, o parâmetro DBO também apresentou comportamento decrescente a partir do aumento do descarte inicial, indicando que a lavagem do telhado pela própria precipitação contribui para a redução do teor de matéria orgânica, como mostra a Figura 29. Observa-se, contudo, valores de DBO que podem ser considerados baixos para a água pluvial coletada, estando sempre abaixo de 10 mg/L. Considerando o fato de a coleta ter

ocorrido no período de estiagem, com menor intensidade pluviométrica e, conseqüentemente, telhados possivelmente mais sujos, constata-se que o tratamento biológico não seria indicado para a água em questão.

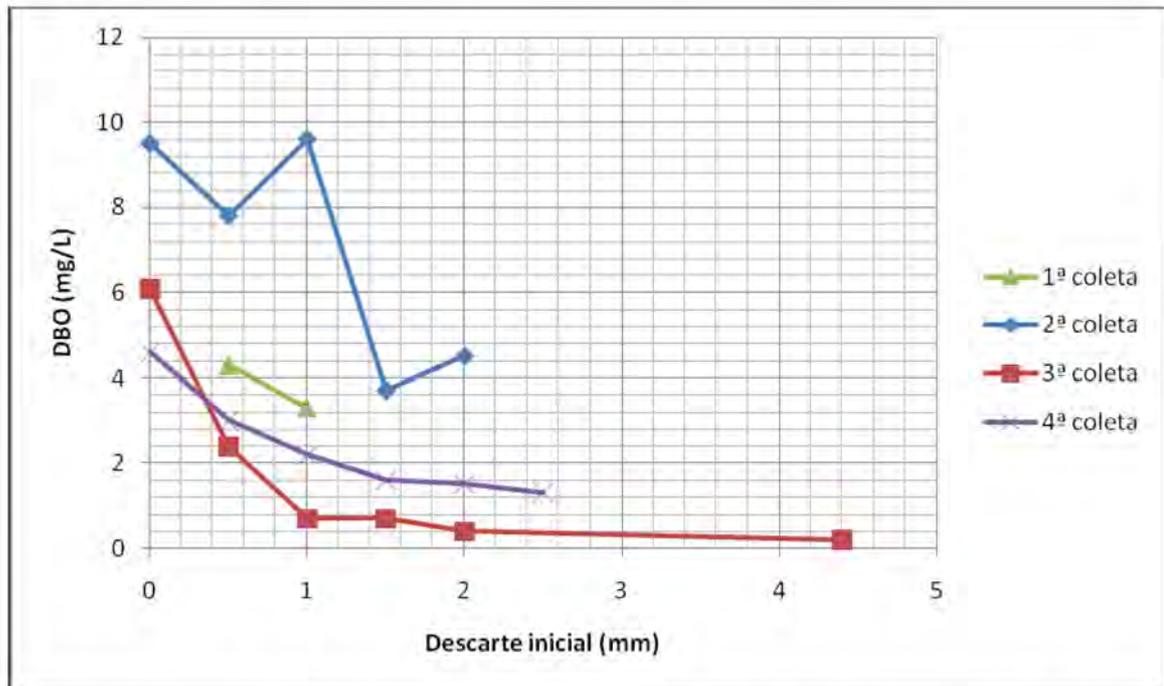


Figura 29 – Gráfico de DBO para cada descarte inicial considerado

Apenas na 4ª coleta foi verificado o decaimento dos valores de coliformes totais e coliformes termotolerantes, como mostram as Figuras 30 e 31. Nas demais coletas, o comportamento desses parâmetros foi bastante irregular. Isso pode ser explicado pelo fato de a contaminação microbológica ser muito sensível ao percurso realizado pela água desde o telhado até o ponto de coleta de amostras e ao próprio método de coleta.

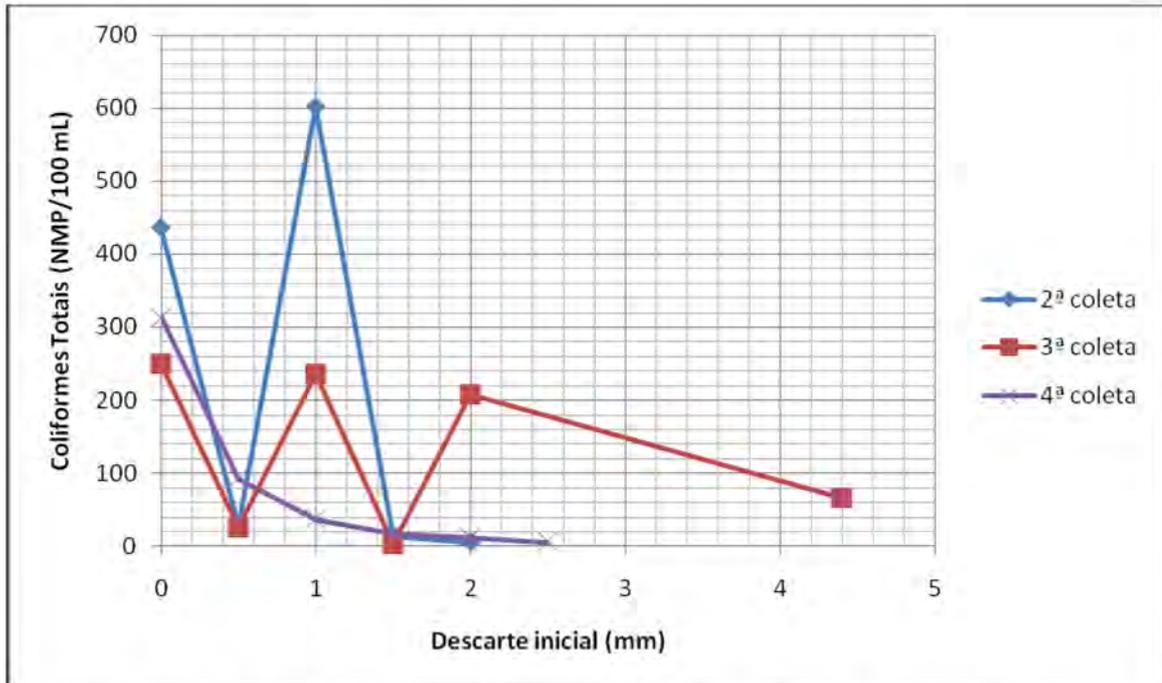


Figura 30 – Gráfico de coliformes totais para cada descarte inicial considerado

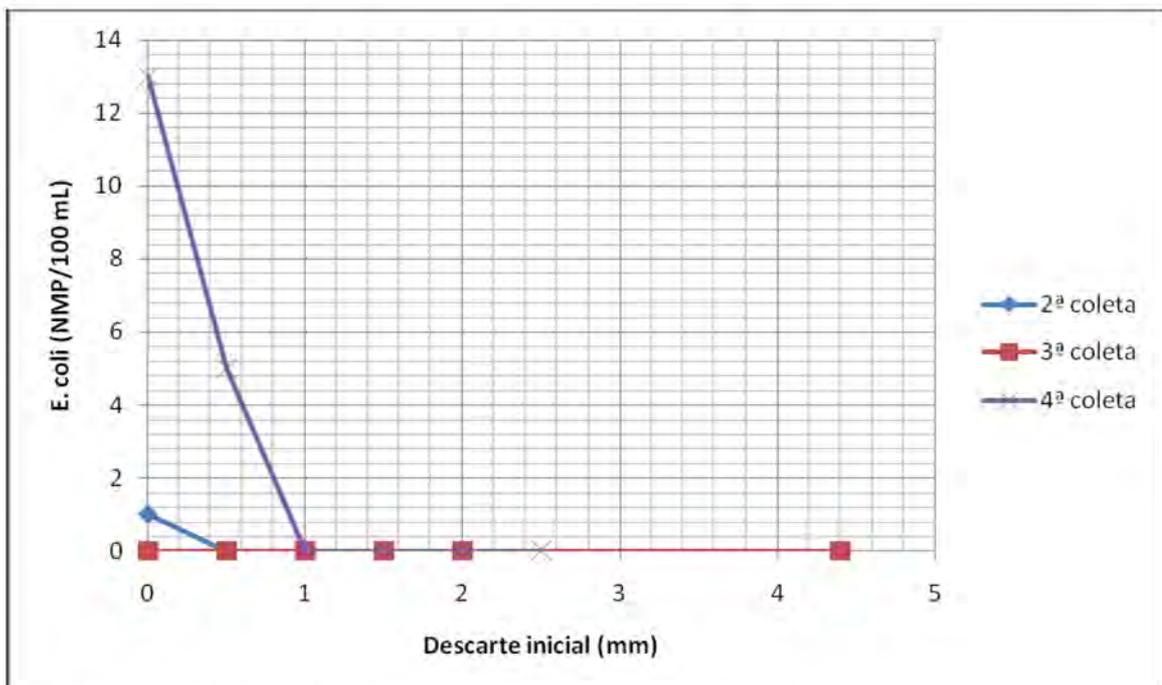


Figura 31 – Gráfico de E. coli para cada descarte inicial considerado

No que diz respeito à análise de íons, verificou-se um comportamento irregular quando são comparados os diferentes descartes iniciais, como mostram as Figuras 32, 33, 34, 35 e 36. No entanto, em todos os casos, os valores obtidos estão dentro da faixa preconizada pela Portaria nº 518 (BRASIL, 2004) para água potável, uma vez que as concentrações

obtidas de fluoretos, cloretos, nitrato e sulfato são menores que 1,5 mg/L, 250 mg/L, 10 mg/L e 250 mg/L, respectivamente.

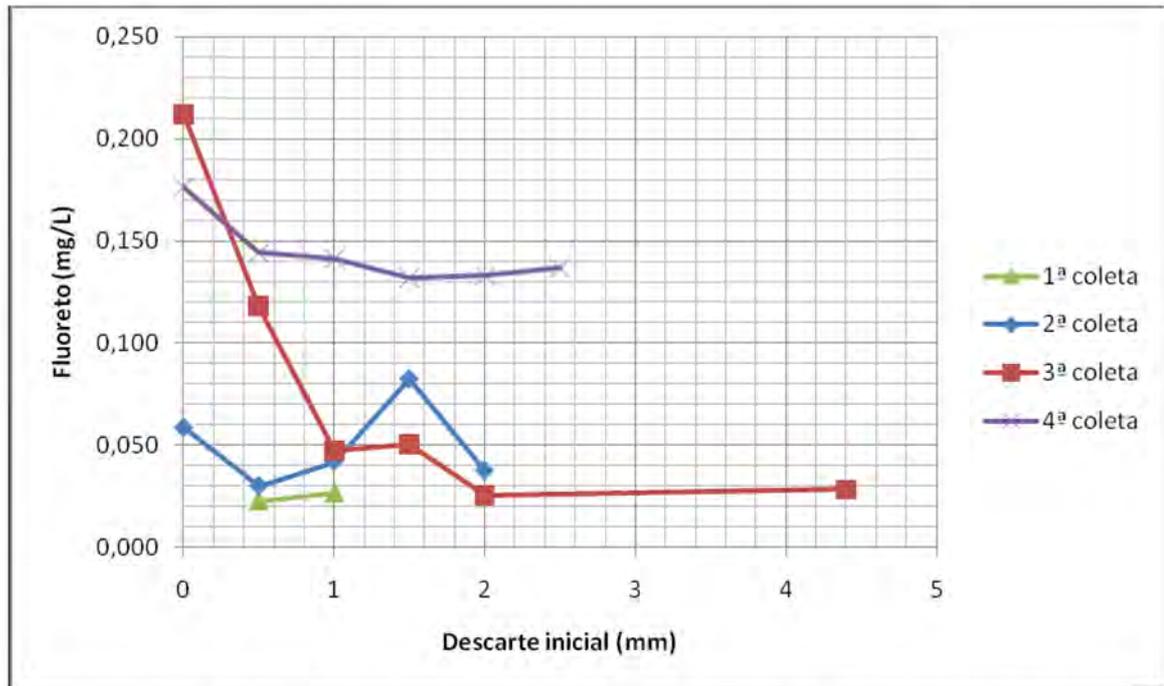


Figura 32 – Gráfico de fluoreto para cada descarte inicial considerado

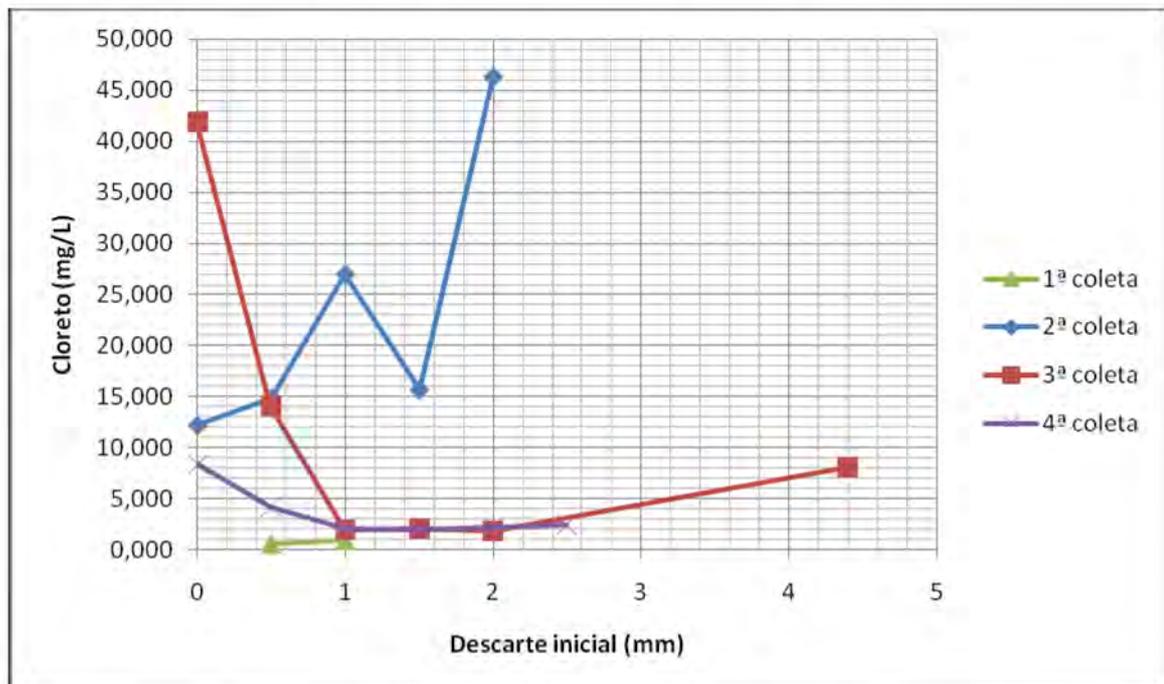


Figura 33 – Gráfico de cloreto para cada descarte inicial considerado

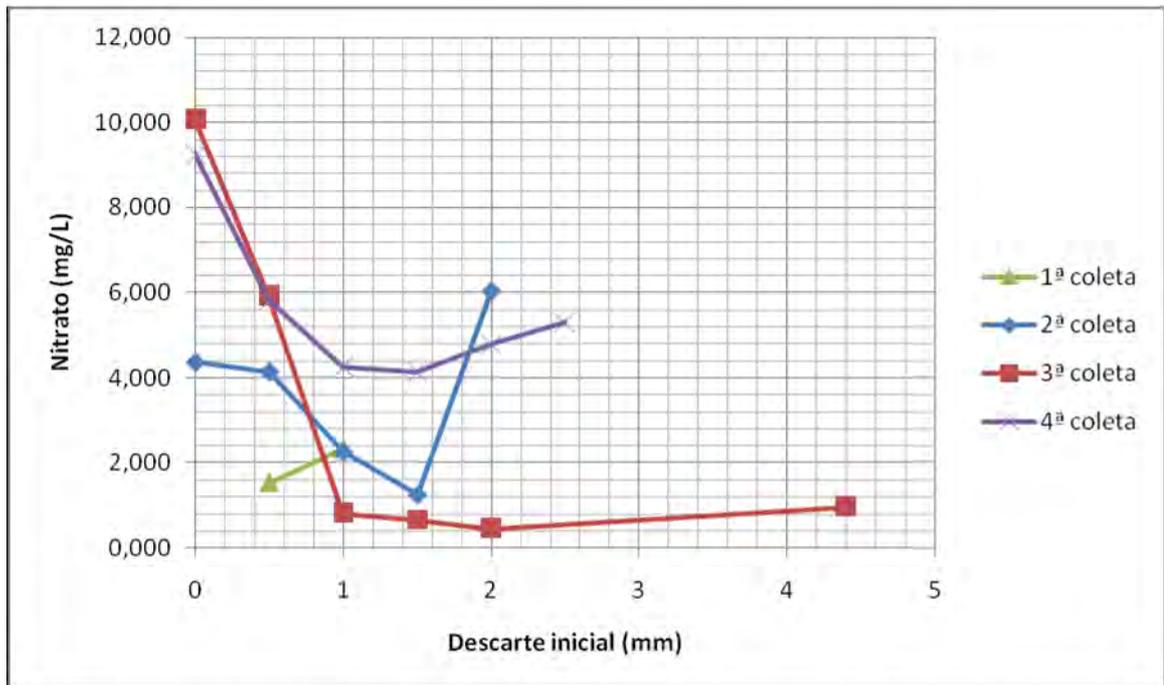


Figura 34 – Gráfico de nitrito para cada descarte inicial considerado

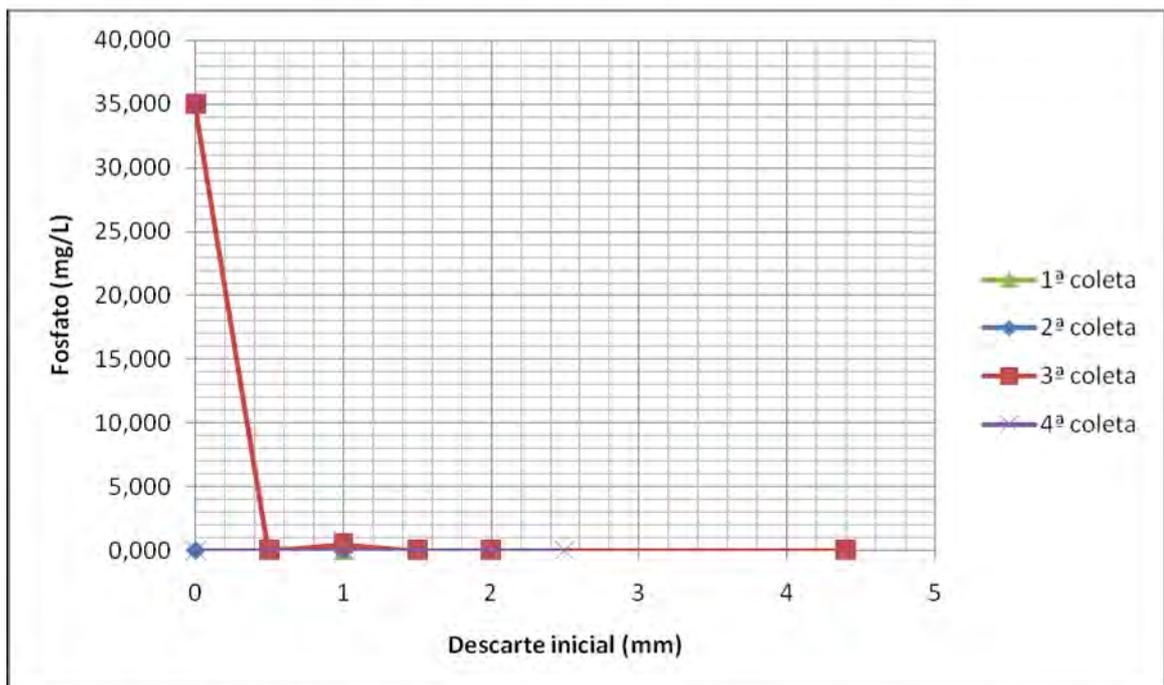


Figura 35 – Gráfico de fosfato para cada descarte inicial considerado

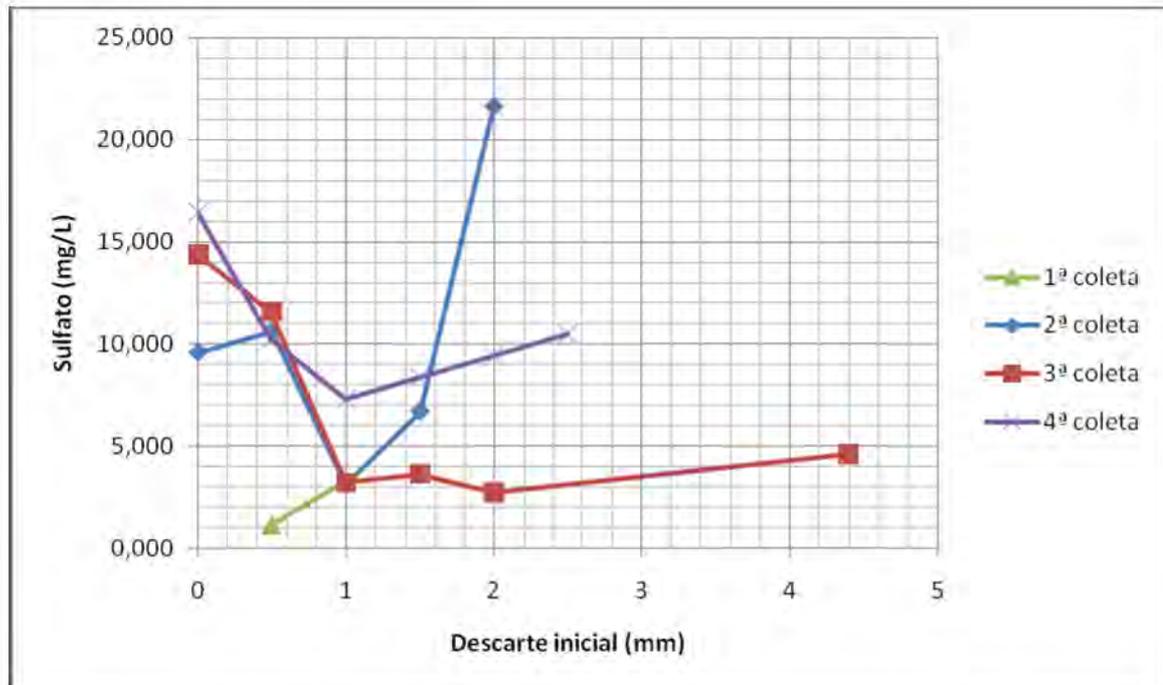


Figura 36 – Gráfico de sulfato para cada descarte inicial considerado

Analisando-se os resultados obtidos, é possível perceber que, a partir do descarte correspondente a 1,5 mm, a melhoria da qualidade da água passou a reduzir de intensidade, indicando que este valor de descarte é o primeiro potencial candidato. A escolha do melhor valor de descarte inicial deve levar em consideração o tipo de tratamento necessário para que a água de chuva restante atenda ao padrão vigente, bem como o desperdício do escoamento inicial, visto que o mesmo não será aproveitado.

Concluiu-se que, se adotado um descarte de 1,5 mm, faz-se necessário especificar um tratamento capaz de reduzir em 78,2% a cor aparente e em 61% a turbidez para que o aproveitamento para fins não potáveis possa ser realizado, de acordo com a NBR 15527 da ABNT (2007). Por outro lado, se adotado um descarte de 2,0 mm, as reduções de cor aparente e de turbidez devem ser, respectivamente, 52% e 53%. É importante observar que foram considerados os valores máximos de cor aparente e de turbidez obtidos para cada valor de descarte, dentre as quatro coletas realizadas. Além disso, verificou-se a necessidade de desinfecção para obter a ausência de coliformes totais e termotolerantes e de correção de pH, conforme já foi mencionado.

A utilização de valores de descarte superiores a 2,0 mm foi descartada, uma vez que a melhoria da qualidade verificada foi pequena (4ª coleta) ou até mesmo inexistente (3ª coleta). Dessa forma, pretende-se evitar casos de variação mais acentuada da intensidade da chuva.

Como todos os valores de cor verdadeira foram menores que 15 uH e todos os valores de turbidez foram menores que 10 uT para os descartes de 1,5 mm e 2,0 mm, conclui-se que a filtração lenta pode ser um tipo de tratamento a ser especificado.

Por fim, pode-se concluir que, levando em consideração os parâmetros analisados, a água de chuva resultante do pré-tratamento de descarte inicial de 1,5 mm e 2,0 mm enquadra-se na classe B, de acordo com a NBR 12216 (ABNT, 1992), e, se feita correção de pH, enquadra-se na classe 1, de acordo com a Resolução nº 357 (CONAMA, 2005), revelando um potencial animador para a realização do aproveitamento para fins potáveis. Segundo a NBR 12216 (ABNT, 1992), o tratamento para potabilizar este tipo de água deve ser composto por desinfecção, correção de pH e filtração e/ou decantação, sem necessidade de coagulação. Ainda, de acordo com a Resolução nº 357 (CONAMA, 2005), águas de classe 1 podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, ou seja, sem necessidade de coagulação. Vale observar que, para essa classificação, foram desconsiderados os valores de DBO da segunda coleta, visto que os mesmos foram muito discrepantes dos outros devido à provável existência de erros sistemáticos.

5.4 Dimensionamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais

Uma vez determinados os hangares para o aproveitamento e obtidos os resultados da caracterização da qualidade da água pluvial, foi possível projetar o sistema de aproveitamento de águas pluviais do PAMA-GL. Assim, conhecendo-se o posicionamento do reservatório de acumulação de águas pluviais e as instalações prediais existentes dos hangares escolhidos (H 001 e H 003), projetou-se a rede apresentada no Apêndice E.

5.4.1 Reservatório de acumulação

Para dimensionar o reservatório de acumulação, utilizou-se o programa de dimensionamento mencionado no item 4.3.1. Como parâmetros de entrada, considerou-se o histórico de precipitações do item 4.1.4, demanda diária de 24,8 m³, área de captação de 23702,55 m², vida útil do sistema igual a 20 anos, coeficiente de runoff igual a 0,8 e first flush igual a 1,5 mm, conforme os resultados apresentados no item 5.3. Por fim, os valores utilizados para taxa de inflação, taxa de desconto e preço do m³ de água potável foram aqueles

disponibilizados, respectivamente, pelo Banco Central do Brasil – BCB – (2011) e pela Companhia Estadual de Águas e Esgotos – CEDAE – (2011). Conseqüentemente, obteve-se que o volume ótimo do reservatório é de 199 m³.

Com o objetivo de discutir o método desenvolvido, foi elaborada uma rotina utilizando VBA, a fim de analisar um conjunto de situações diferenciadas. Nessa etapa, foram introduzidas as variáveis de eficiência na análise, a fim de permitir uma comparação entre o método em questão e a análise racional de Moruzzi et al. (2010). As Figuras 37, 38, 39 e 40 apresentam o comportamento de algumas variáveis com a variação do volume do reservatório.

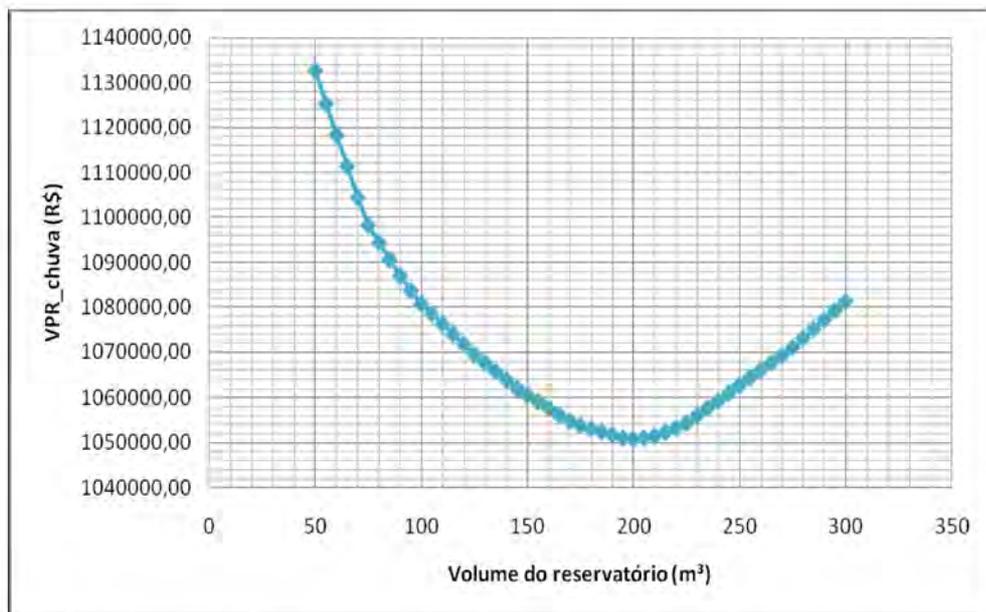


Figura 37 – Gráfico do valor presente da opção de captação de água pluvial pelo volume

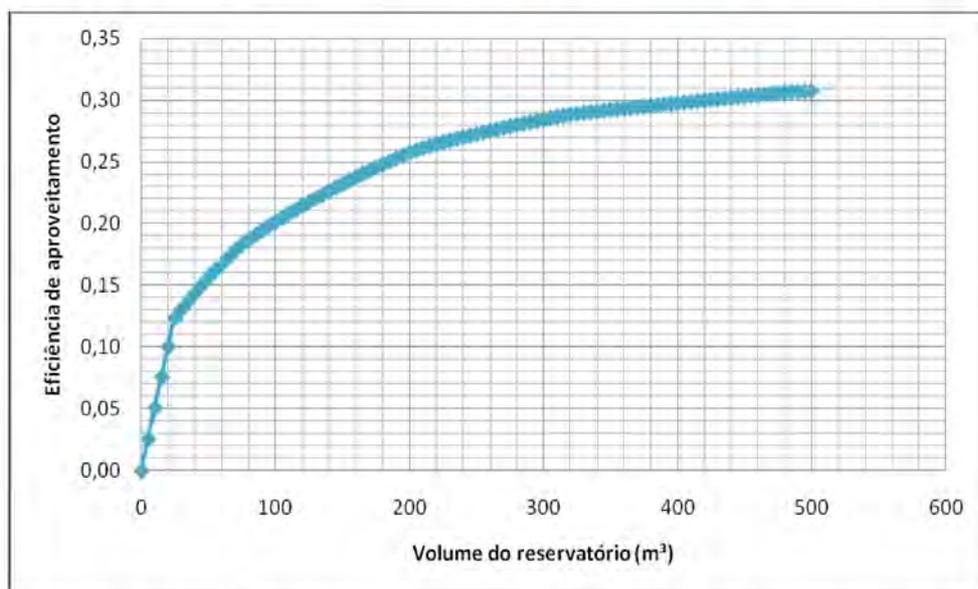


Figura 38 – Gráfico da eficiência de aproveitamento pelo volume

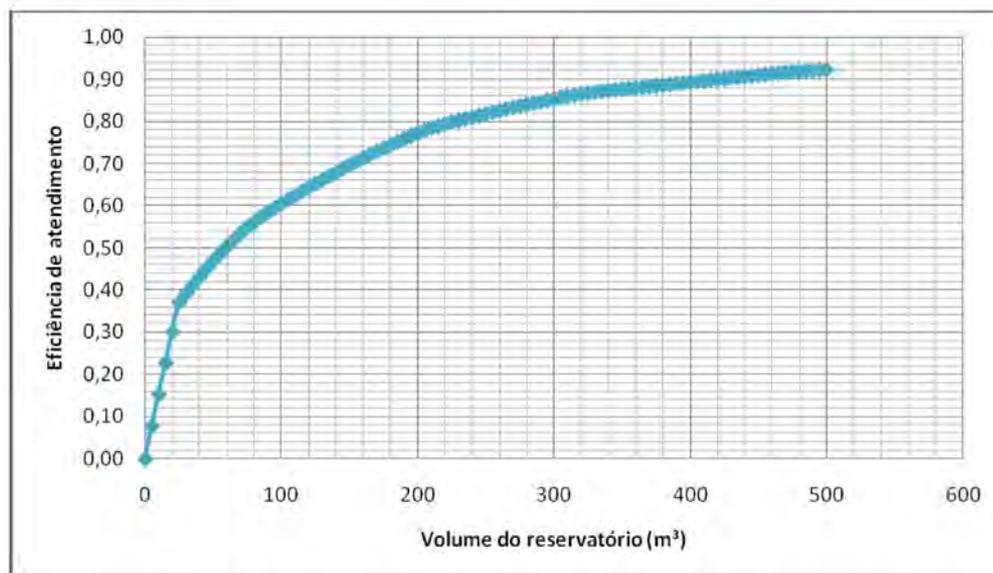


Figura 39 – Gráfico da eficiência de atendimento pelo volume

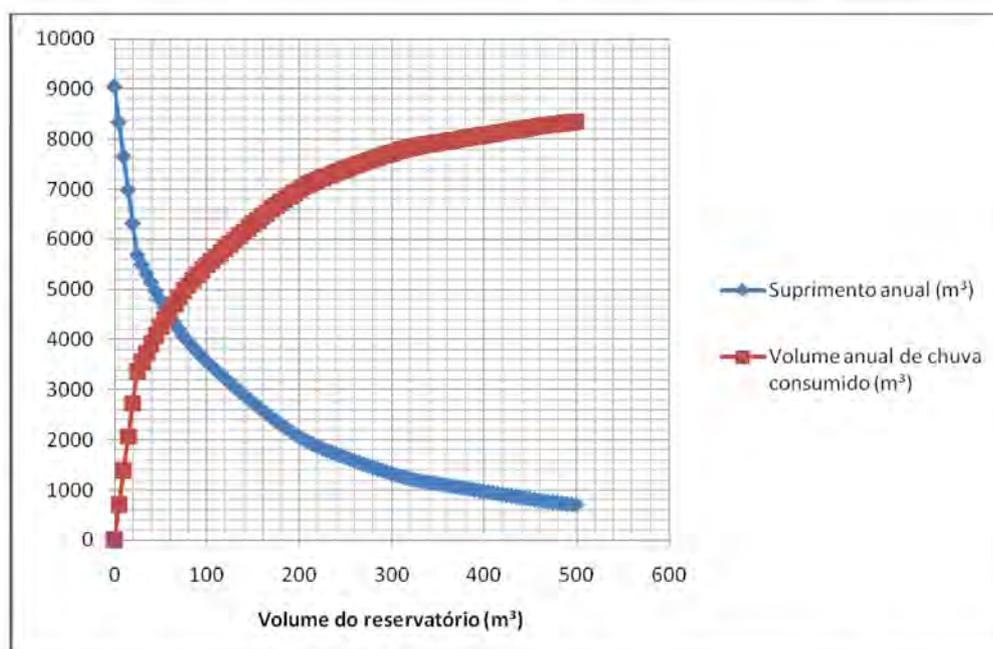


Figura 40 – Gráfico do suprimento e do volume de chuva consumido anuais pelo volume

É interessante notar que o valor ótimo obtido não corresponde ao momento em que as eficiências de atendimento e de aproveitamento passam a ter menores alterações com o incremento do volume. Isso se deve ao fato de que o aumento da parcela do custo do reservatório no valor presente ainda é compensado pela redução da parcela de suprimento. O ponto ótimo, correspondente ao valor presente mínimo, caracteriza-se pela situação em que a redução da parcela composta pelo suprimento não mais sustenta o aumento da parcela relacionada ao custo do reservatório. Além disso, verifica-se que o ponto ótimo não corresponde às máximas eficiências de atendimento e de aproveitamento.

Apesar de não representar o caso em questão, a discussão do método foi expandida à situação de demanda variável. Resolvendo-se o problema de programação matemática para demanda variável, volume do reservatório fixado em 199 m³ e demais parâmetros de entrada inalterados, obtém-se que a demanda ótima é de 22,1 m³/dia. Assim, se fosse necessário projetar uma atividade que fosse abastecida pelo reservatório de volume pré-fixado, esta deveria consumir 22,1 m³/dia para que o sistema de abastecimento fosse o mais econômico possível. Para a discussão do método, foi desenvolvida outra rotina utilizando VBA, a fim de analisar um conjunto de situações diferenciadas. Segundo Moruzzi et al. (2010), a convergência das eficiências implica em payback mínimo. Isso ocorre por causa da limitação da demanda pela disponibilidade de chuva, como mostra a Figura 41, em que a convergência das eficiências ocorre para uma demanda de 74,4 m³/dia, ou seja, a máxima suportável pelo sistema. No entanto, como o payback não leva em consideração o custo do suprimento de água por parte da concessionária, não se pode dizer que essa situação é a mais econômica. Além disso, variando-se o volume do reservatório, a convergência das eficiências sempre conduziria à demanda máxima suportável pelo sistema, uma vez que a eficiência de atendimento é sempre decrescente e a eficiência de aproveitamento é sempre crescente, limitada apenas pela disponibilidade de chuva. Tais fatos podem ser observados com a análise do valor de demanda obtido quando da aplicação do novo método, uma vez que ele é menor que a demanda máxima suportável pelo sistema.

É importante observar que há casos, nos quais devem estar baseados a análise racional de Moruzzi et al. (2010), em que se deseja estabelecer o potencial de atendimento à demanda total de uma edificação a partir de um reservatório de volume pré-fixado. Para essas situações, apenas a maximização do volume de chuva consumido anualmente é suficiente, o que conduz à demanda máxima suportável pelo sistema definida pela disponibilidade de chuva. Assim, o suprimento não precisa ser levado em consideração, uma vez que a demanda total da edificação já é atendida pelo fornecimento da concessionária no momento inicial.

A Figura 42 apresenta o comportamento do volume de chuva consumido e do suprimento em um ano para o caso em questão e a Figura 43 apresenta o comportamento da função objetivo para vários valores de demanda. Como já foi observado, o ponto ótimo (máxima diferença entre volume de chuva consumido e suprimento) não corresponde à demanda máxima definida pela disponibilidade de chuva.

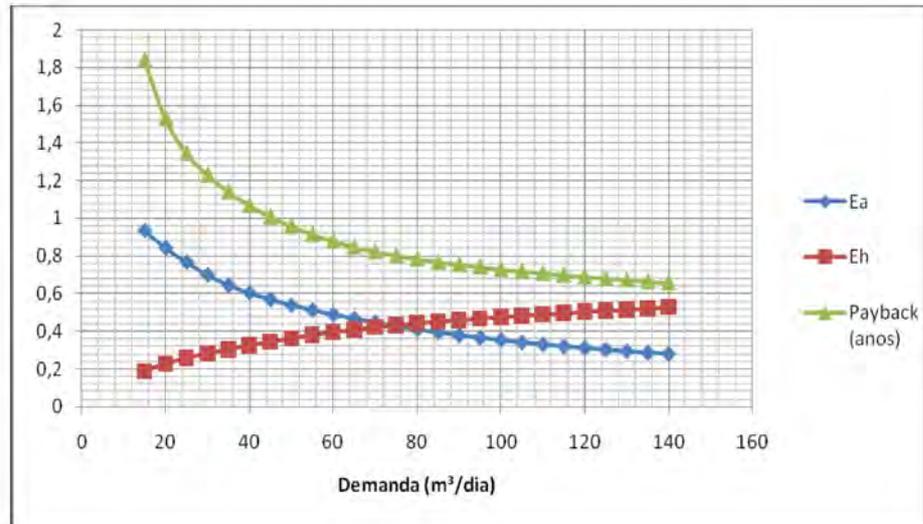


Figura 41 – Gráfico das eficiências e do payback pela demanda

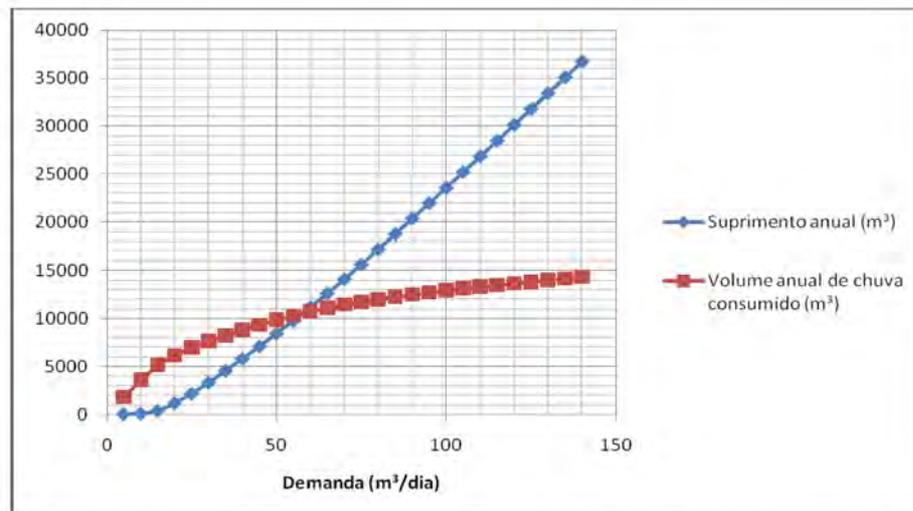


Figura 42 – Gráfico do suprimento e do volume de chuva consumido anuais pela demanda

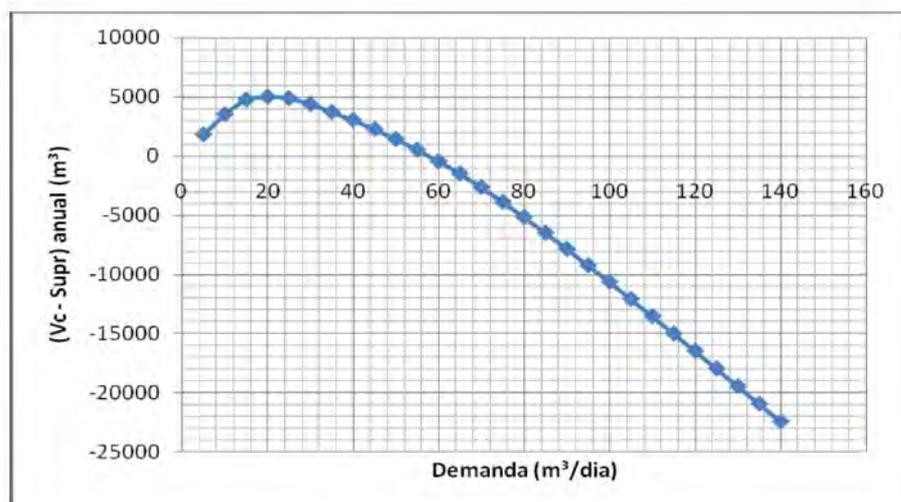


Figura 43 – Gráfico da diferença entre volume consumido e suprimento pela demanda

Para fins de comparação, o reservatório também foi dimensionado segundo os métodos descritos na NBR 15527 da ABNT (2007) para os mesmos parâmetros de entrada. Os resultados são apresentados na Tabela 19. É possível notar que o método estabelecido realmente conduz a valores bem menores de volume, enfatizando que a utilização de modelos hidráulicos e econômicos mais detalhados no dimensionamento pode aumentar significativamente a viabilidade de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

Tabela 19 – Volume de reservatório, em m³, para cada método analisado

Ano	Método proposto	Método de Rippl	Método Azevedo Neto	Método Prático Alemão	Método Prático Inglês
2004	174	784	2070	545	1232
2005	149	891	2192	544	1305
2006	166	1376	2002	544	1192
2007	149	773	1784	544	1062
2008	145	880	2603	545	1550
2009	199	645	3294	544	1961
2010	166	1657	3022	544	1799
Máximo	199	1657	3294	545	1961

Uma vez determinado o volume total do reservatório de acumulação de águas pluviais, adotou-se que o reservatório superior deve possuir capacidade correspondente a 20% do volume total e que o reservatório inferior deve possuir capacidade correspondente a 80%. Essa distribuição foi feita a partir de critérios de projeto para redes de abastecimento urbano de água, segundo os quais o volume do reservatório superior deve ser cerca de 20% do volume total de reservação. Adicionalmente, obteve-se que a capacidade do reservatório superior é maior que a demanda diária estimada, o que traz maior confiabilidade ao sistema.

Considerando que o reservatório superior tenha seção circular e que a altura do nível d'água seja igual a 4 m, obtém-se que o diâmetro do mesmo deve ser igual a 3,6 m. Considerando que o reservatório inferior tenha seção retangular, seja bipartido e que a altura do nível d'água seja igual a 3 m, projetou-se um comprimento de 6 m e uma largura de 9 m para o mesmo, conforme relação trivial entre largura e comprimento de 3 para 4 para fins de economia de material. A fim de garantir a distribuição da água de chuva para as finalidades

projetadas, o reservatório superior foi posicionado a uma altura de 10 m com relação à superfície.

5.4.2 Reservatório de auto-limpeza

Em função dos resultados apresentados no item 5.3, decidiu-se adotar o descarte de 1,5 mm de precipitação inicial como forma de pré-tratamento. Com o objetivo de minimizar a necessidade de intervenção manual para esvaziamento a cada precipitação, projetou-se um reservatório de auto-limpeza provido de orifício para descarte da água, a qual é encaminhada para a rede de águas pluviais existente, como pode ser visualizado no Apêndice E. Assim, utilizando o método apresentado no item 4.3.2, foi possível determinar as dimensões do reservatório de auto-limpeza, bem como o diâmetro da tubulação de descarga da primeira água. Os resultados são apresentados na Tabela 20. É importante observar que foi adotado um tempo de escoamento no orifício de duas horas.

Tabela 20 – Resultados do dimensionamento do reservatório de auto-limpeza

Parâmetro	Valor
V_{RAL} (m ³)	28,4
Largura do reservatório de auto-limpeza (m)	4,3
Comprimento do reservatório de auto-limpeza (m)	4,5
Altura do nível d'água no reservatório de auto-limpeza (m)	1,5
Q_o (m ³ /s)	$4,0 \times 10^{-3}$
A_o (m ²)	$1,4 \times 10^{-3}$
Diâmetro da tubulação de descarga (cm)	5,0

5.4.3 Calhas e Condutores

Para realizar o dimensionamento das calhas e dos condutores, foi necessário identificar as áreas de contribuição do sistema, as quais são mostradas na Figura 44. Como pode ser observado no Apêndice E, o sistema de aproveitamento de águas pluviais projetado mantém, em sua maioria, as calhas e os condutores verticais dos hangares H 001 e H 003, não sendo

necessário, portanto, realizar o dimensionamento dos mesmos. Apenas no hangar H 003, foi necessário projetar uma nova calha (CL1) e um novo condutor vertical (CV1) para captar a água de chuva proveniente da área de contribuição A3 (Figura 44), visto que, nesse caso, a utilização do sistema existente exigiria a construção de um novo condutor horizontal dentro do hangar, solução que não apresenta praticidade e economia. Foram adotados os seguintes materiais de construção para calhas, condutores verticais e condutores horizontais, respectivamente: aço galvanizado, PVC e concreto.

Considerando a área em planta das coberturas dos hangares H 001 e H 003, bem como a inclinação das mesmas, foi possível calcular as áreas de contribuição para fins de dimensionamento. Assim, obteve-se que A1 vale 21229 m² e que A2 e A3 valem 2606,5 m². Para a determinação da vazão de projeto, considerou-se a intensidade pluviométrica com período de retorno de cinco anos para a cidade do Rio de Janeiro (Praça XV), conforme NBR 10844 (ABNT, 1989). Dessa forma, a vazão de projeto para dimensionamento da calha CL1 e do condutor vertical CV1 é igual a 7558,85 L/min. Considerando o método de dimensionamento descrito no item 4.3.3, foi possível dimensionar as calhas e os condutores, horizontais e verticais, da nova rede projetada que compõe o sistema de aproveitamento de águas pluviais. Os resultados são apresentados na Tabela 21.

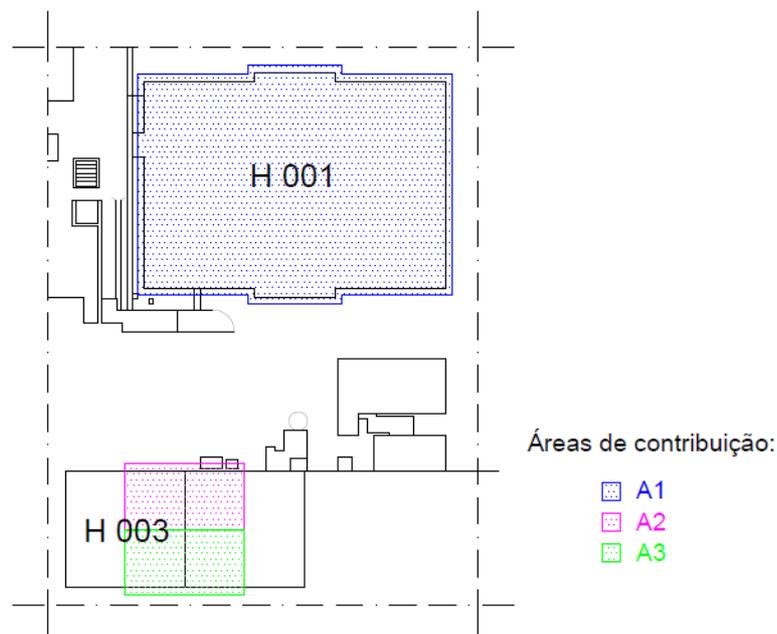


Figura 44 – Áreas de contribuição

Tabela 21 – Resultados do dimensionamento de calhas e condutores

Calha CL1			
Largura da calha (m)			0,5
Altura da calha (m)			0,27
Altura da lâmina líquida (m)			0,18
Borda livre (m)			0,09
i (m/m)			0,005
v			0,011
Condutor vertical CV1			
ϕ (mm)			200
Condutores horizontais			
Condutor	CH1, CH2, CH3 e CH4	CH5	CH6, CH7, CH8 e CH9
Área de contribuição	A2 + A3	A1	A1 + A2 + A3
Q (m ³ /s)	0,252	1,026	1,278
K' (*)	0,246	0,246	0,246
v	0,013	0,013	0,013
i (m/m)	0,005	0,005	0,005
ϕ (m)	0,535	0,905	0,983
ϕ comercial (cm)	60	100	100

(*) Para altura da lâmina líquida igual a 2/3 do diâmetro do condutor.

5.4.4 Sistema elevatório

O sistema elevatório foi projetado de forma a recalcar diariamente, do reservatório inferior para o superior, um volume igual à demanda diária, ou seja, 24,8 m³ e considerou-se que o conjunto moto-bomba trabalha 4,5 horas por dia. De acordo com o projeto desenvolvido para o sistema de aproveitamento de águas pluviais do PAMA-GL (Apêndice E), a tubulação de recalque de aço galvanizado tem um comprimento total de 12 m e introduz as seguintes perdas de carga localizadas: 1 válvula de retenção do tipo leve de 1 ½", 1 registro de gaveta aberto de 1 ½", 2 têes de curva dupla de ½", 6 têes de saída dupla de ½", 4 cotovelos de 90° de ½", 1 cotovelo de 90° de 1 ½" e 1 entrada normal de 1 ½". Além disso, há também a perda de

carga nos filtros e no clorador, as quais foram estimadas, respectivamente, em 5 mca (cada filtro) e 1,5 mca, na falta da especificação técnica de tais produtos. A tubulação de sucção de aço galvanizado, por sua vez, tem um comprimento total de 8,6 m e introduz as seguintes perdas de carga localizadas: 1 válvula de pé com crivo de 2” e 1 cotovelo de 90° de 2”. Utilizando o método de dimensionamento descrito no item 4.3.4, foi possível dimensionar a bomba para recalque da água de chuva do reservatório de acumulação inferior para o reservatório superior. Os resultados são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 – Resultados do dimensionamento da bomba hidráulica

Parâmetro	Valor
Q_r (m ³ /s)	$1,53 \times 10^{-3}$
x (h)	4,5
ϕ_{rec} (”)	1 ½
ϕ_{suc} (”)	2
H_R (m)	13,7
H_S (m)	4,6
H_{PCR} (m)	3,2
H_{PCS} (m)	0,5
H_{man} (m)	22,0
η	0,5
P (HP)	0,9

Dessa forma, a bomba hidráulica deve atender aos requisitos de vazão igual a 5,5 m³/h e de altura manométrica igual a 22,0 m. Enfim, o conjunto moto-bomba deve possuir potência de 1,5 HP, considerando um acréscimo de 50% no valor calculado, conforme Porto (2006).

5.4.5 Unidades de tratamento

De acordo com os resultados da caracterização, verificou-se que, com o descarte de 1,5 mm, o aproveitamento para fins não potáveis pode ser realizado após tratamento que reduza a cor aparente e a turbidez e que promova desinfecção. Para a redução de cor aparente

e de turbidez, pensou-se inicialmente em algumas formas de tratamento por filtração: filtro lento de areia, filtro comercial e geotêxtil.

Considerando o tratamento por filtração lenta após a passagem da água de chuva pelo reservatório de auto-limpeza, tem-se que, para uma taxa de filtração média de $4,5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ – valor médio da faixa recomendável por Di Bernardo et al. (1999) – e para uma vazão de projeto correspondente à precipitação com 99,5% de chance de ocorrência, a área total do filtro em planta deve ser igual a $273,9 \text{ m}^2$, conforme a metodologia apresentada no item 4.3.5. Assim, seriam necessários 4 filtros com área de $68,5 \text{ m}^2$ cada. Sabendo-se que a tubulação de saída do reservatório de auto-limpeza encontra-se a profundidade razoável, seria necessário projetar uma segunda estação elevatória para recalcar a água de chuva deste reservatório até a entrada do filtro. Além do fator econômico associado à grande área em planta obtida e à necessidade de uma segunda estação elevatória, o fator operacional também contribui para a não utilização desta alternativa de tratamento, visto que há um conjunto de atividades manuais de operação e manutenção que devem ser realizadas periodicamente com o objetivo de garantir a eficiência da filtração. A Tabela 23 apresenta um resumo dessas atividades, de acordo com Di Bernardo et al. (1999).

Tabela 23 – Atividades de operação e manutenção de filtro lento de areia

Atividades		
Diárias	Periódicas	Eventuais
<ul style="list-style-type: none"> • Controle e registro da vazão afluyente • Medição e registro da qualidade (turbidez) da água filtrada • Retirada do material flutuante • Medição e registro da perda de carga 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpeza das canaletas e da câmara de entrada • Limpeza entre carreiras (câmaras de entrada e saída e raspagem do topo do meio filtrante) 	<ul style="list-style-type: none"> • Reposição da areia limpa e reposicionamento da areia remanescente

Como a filtração lenta se mostrou pouco viável economicamente, foram analisadas outras formas de tratamento por filtração para redução de cor aparente e da turbidez. A utilização de geotêxteis é uma alternativa bastante econômica, mas que depende de ensaios de

tratabilidade para avaliação da carreira de filtração e determinação de parâmetros técnicos. Assim, optou-se pela utilização de filtros comerciais sob pressão, de capacidade de filtração pré-definida, no projeto do sistema de aproveitamento de águas pluviais do PAMA-GL. Empregando filtros com capacidade de vazão de 1360 L/h (disponível comercialmente, conforme Figura 45) após o sistema elevatório, verifica-se a necessidade de cinco filtros para tratar a vazão de recalque. É importante observar que, apesar de não fazer parte do escopo deste TG, a realização de ensaios de tratabilidade é essencial para a especificação de sistemas de tratamento, visto que, através dos mesmos, é possível confrontar aspectos técnicos, econômicos e operacionais para diferentes formas de tratamento.



Figura 45 – Filtro de pressão

Para a desinfecção, optou-se por um sistema de cloração constituído de cloradores por contato, os quais devem ser instalados em bypass após o sistema de filtração e que devem deixar um residual de cloro de, no mínimo, 0,5 mg/L, conforme a NBR 15527 (ABNT, 2007). Empregando cloradores por contato de vazão igual a 20000 L/h (disponível comercialmente, conforme Figura 46), verifica-se a necessidade de apenas um clorador para a desinfecção da vazão de recalque. Para a desinfecção da água do reservatório inferior, optou-se por um sistema de cloração de pastilhas na superfície, semelhante aqueles utilizados em piscinas. Como foi mencionado no item 4.3.5, outros sistemas de desinfecção podem ser utilizados, mas devem ser previamente estudados e analisados experimentalmente para fins de comprovação de eficiência e de viabilidade econômica.



Figura 46 – Clorador por contato

Por fim, algumas vantagens e desvantagens do sistema proposto devem ser comentadas. A colocação do sistema elevatório e do sistema de tratamento após o reservatório inferior teve como objetivo reduzir a quantidade de bombas, bem como evitar a necessidade de construção de um poço de sucção. Sem essa construção, seria necessário projetar uma bomba com capacidade demasiadamente maior para não haver extravasamento no reservatório de auto-limpeza, já que este faria o papel de poço de sucção na ausência de outro com capacidade maior. Em contrapartida, como a água no reservatório inferior será apenas submetida à desinfecção, a presença ainda significativa de matéria orgânica resultará na formação de compostos organoclorados e na necessidade de maior frequência de limpeza do reservatório. No entanto, como a água aproveitada não será utilizada para consumo humano, esta situação não apresenta grandes problemas.

5.5 Avaliação econômica

5.5.1 Método proposto para o dimensionamento do reservatório de acumulação

Uma vez dimensionado o reservatório de acumulação, foi possível obter o valor presente da opção de captação de água de chuva (sem contemplar o sistema como um todo, apenas o reservatório, uma vez que os demais componentes teriam a mesma capacidade) para uma vida útil de 20 anos. Considerando os valores de suprimento e de volume de chuva consumido anuais para um nível de confiança de 95%, obtidos quando da aplicação do balanço de massa para verificação do comportamento do reservatório em cada ano da série histórica de precipitações, obteve-se que o valor presente da opção de captação de água de

chuva é de R\$ 1226966,26. Para efeito de comparação, confrontou-se esse valor com aqueles associados aos volumes obtidos segundo outros métodos de dimensionamento, conforme a Tabela 19. Foram verificadas reduções de 48%, 68%, 14% e 53% no valor presente da opção de captação de água de chuva quando o método em questão é comparado ao Método de Rippl, ao Método Azevedo Neto, ao Método Prático Alemão e ao Método Prático Inglês, respectivamente, como mostra a Tabela 24.

Tabela 24 – Valor presente da opção de captação de água de chuva para cada método

	VPR_{chuva} (R\$)
Método proposto	1226966,26
Método de Rippl	2377150,60
Método Azevedo Neto	3805301,24
Método Prático Alemão	1432669,24
Método Prático Inglês	2638313,53

É válido ressaltar novamente que o valor presente obtido não contempla o custo do sistema como um todo (apenas do reservatório de acumulação) e foi calculado com o objetivo de viabilizar uma análise comparativa do método proposto com métodos previstos no que diz respeito ao aspecto econômico, além de representar uma ferramenta bastante útil para pré-estudos de viabilidade.

5.5.2 Sistema de aproveitamento de águas pluviais do PAMA-GL

Considerando a rede desenvolvida no item 5.4, a qual é apresentada no Apêndice E, foi feita uma estimativa de custos para uma possível solução de sistema de aproveitamento de águas pluviais a ser implementada no PAMA-GL. À exceção do reservatório de auto-limpeza, dos filtros e do clorador, foram utilizados os relatórios de insumos e de serviços de setembro de 2011, para o estado do Rio de Janeiro, disponibilizados pela Caixa Econômica Federal (2011) conforme o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), para a precificação dos demais elementos do sistema. A estimativa de custos do reservatório de auto-limpeza foi feita através da Equação 18, ao passo que a precificação dos filtros e do clorador foi feita considerando-se os produtos das empresas 3M e Aguazul

Soluções, respectivamente. A Tabela 25 apresenta a estimativa de custos dos principais elementos do sistema.

Tabela 25 – Estimativa de custos dos principais elementos do sistema de aproveitamento de águas pluviais do PAMA-GL

Item	Unidade	Quantidade	Custo (R\$)
Reservatório de auto-limpeza	m ³	28,4	15075,62
Calha de aço galvanizado (b=50 cm), com instalação	m	66	2308,02
Condutor vertical de PVC (ϕ =200 mm), com instalação	m	10	199,50
Condutor horizontal de concreto (ϕ =60 cm), com assentamento	m	97	14187,22
Condutor horizontal de concreto (ϕ =100 cm), com assentamento	m	92	35094,32
Poço de visita com profundidade média de 1,5 m	unidade	7	22596,56
Bomba de 1,5 HP, com instalação	unidade	1	1228,34
Tubo de aço galvanizado (ϕ =1 ½”), com instalação	m	12	517,92
Tubo de aço galvanizado (ϕ =2”), com instalação	m	8,6	510,67
Acessórios de aço galvanizado, com instalação	unidade	17	510,34
Filtro com vazão de 1360 L/h	unidade	5	483,60
Clorador com vazão de 20000 L/h	unidade	1	316,99

Assim, adicionando o custo dos demais elementos do sistema ao valor presente da opção de captação de água de chuva, o qual já contempla o custo do reservatório de acumulação, obteve-se que o valor presente do sistema de aproveitamento de águas pluviais do PAMA-GL é de R\$ 1319995,36, para um período de análise de 20 anos. É válido observar que este valor engloba um custo anual estimado de operação e manutenção do sistema correspondente a 6% do custo do reservatório, conforme recomendado por Tomaz (2003). Apesar disso, deve-se ressaltar a importância da realização de estudos de tratabilidade para a determinação precisa dos custos de operação e manutenção.

Por outro lado, tem-se que o valor presente da opção de utilização de água da concessionária para atender a demanda de projeto, considerando o mesmo período de análise, é de R\$ 1414819,77, evidenciando, assim, a viabilidade de implementação do sistema de aproveitamento de águas pluviais. Ainda, obteve-se também que o payback é de 3,7 anos e que a redução de consumo de água potável é de 4718,19 m³, totalizando uma economia de R\$ 56618,31 anualmente, para um nível de confiança de 95%.

Por fim, como foi feita uma previsão de demanda de água de chuva considerando o perfil de consumo de água do PAMA-GL, decidiu-se realizar uma análise de sensibilidade das métricas econômicas com relação à demanda. Considerando-se cenários de demanda maior e menor que a estimada (24,8 m³) para o mesmo volume de reservatório obtido (199 m³), foram calculados o valor presente do sistema de aproveitamento de águas pluviais, o valor presente da opção de utilização de água da concessionária, a economia anual com consumo de água potável e o payback. Os resultados são apresentados na Tabela 26. Observa-se que a implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais é viável para todos os cenários analisados. O máximo payback obtido foi de 5,3 anos e, à medida que se aumentou a demanda, este valor foi diminuindo, tendendo a uma estabilização em torno de 3 anos, em virtude do limite de capacidade do reservatório.

Tabela 26 – Análise de sensibilidade das métricas econômicas com relação à demanda

Demanda	VPR_{chuva} (R\$)	VPR_{concessionária} (R\$)	Economia anual (R\$)	Payback (anos)
Estimada	1319995,36	1414819,77	56618,31	3,7
50% menor	633965,36	707409,89	39098,51	5,3
25% menor	924605,89	1061114,84	48757,36	4,2
25% maior	1549657,45	1768524,72	61343,60	3,4
50% maior	1881478,65	2122229,67	64684,99	3,2

6 Conclusões

A partir da caracterização da qualidade da água pluvial, mostrou-se que a técnica do first flush realmente é eficiente como forma de pré-tratamento, uma vez que viabilizou uma redução acentuada dos valores de turbidez, cor aparente, cor verdadeira e DBO. Se adotado um descarte de 1,5 mm da precipitação inicial, o aproveitamento para fins não potáveis pode ser realizado após tratamento que reduza em 78,2% a cor aparente e em 61% a turbidez e que promova correção de pH e desinfecção. Os resultados da caracterização também indicaram que a água de chuva analisada enquadra-se na classe B, de acordo com a NBR 12216 da ABNT (1992), e, com correção de pH, na classe 1, de acordo com a Resolução nº 357 do CONAMA (2005), revelando um potencial animador para o aproveitamento para fins potáveis.

Após uma revisão da literatura abrangente, verificou-se que a maior parte dos métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais baseia-se em análises de comportamento de variáveis perante a variação da capacidade do reservatório, sendo a determinação prática e automática do volume para alguns parâmetros de entrada ainda incipiente. A aplicação da Pesquisa Operacional no dimensionamento de reservatórios em sistemas de aproveitamento de águas pluviais permitiu obter valores otimizados de volume e demanda no que diz respeito ao aspecto econômico do custo no ciclo de vida. No estudo de caso do PAMA-GL, para uma demanda diária de 24,8 m³ e uma área de cobertura de 23702,55 m², obteve-se o valor de 199 m³ na otimização do volume do reservatório e o valor presente de R\$ 1226966,26 da opção de captação de água de chuva para um período de análise de 20 anos. Utilizando os mesmos dados de entrada, foi possível calcular o volume a partir dos métodos citados na NBR 15527 da ABNT (2007) e concluiu-se que o novo método reduziu em 48%, 68%, 14% e 53% o valor presente da opção de captação de água de chuva quando comparado ao Método de Rippl, ao Método Azevedo Neto, ao Método Prático Alemão e ao Método Prático Inglês, respectivamente. Assim, verificou-se que a utilização de métodos de dimensionamento baseados em modelos hidráulicos e econômicos mais detalhados amplia significativamente a viabilidade de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, o que, juntamente com o aspecto ambiental de gestão eficiente dos recursos hídricos e de redução de enchentes, contribui para a evolução de projetos nessa área.

Por fim, concluiu-se que a implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais projetado para o PAMA-GL é viável economicamente para os cinco cenários de demanda analisados.

Referências

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

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

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9897: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.** Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores.** Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais.** Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5626: Instalação predial de água fria.** Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ANA, Agência Nacional das Águas. **ATLAS Brasil: Abastecimento Urbano de Água.** Brasília: ANA, 2010. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/Download.aspx>>. Acesso em: 08 abr. 2011.

ANA, Agência Nacional das Águas; FIESP, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo; SINDUSCON-SP, Sindicato das Indústrias do Estado de São Paulo. **Conservação e reuso da água em edificações.** São Paulo: ANA; FIESP; SINDUSCON-SP, 2005.

ARCOSA, American Rainwater Catchment Systems Association. **Rainwater catchment design and installation standards.** Austin: ARCOSA, 2009. Disponível em: <http://www.harvesth2o.com/adobe_files/ARCOSA_Rainwater%20Code.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2011.

AZEVEDO NETO, J. M. **Manual de Hidráulica.** 8. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1998.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; NASCIMENTO, L. D.; CARVALHO, G. R. M.; SILVA, C. V. Coliformes como indicadores da qualidade da água: alcance e limitações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: ABES, 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/ii-057.pdf>>. Acesso em: 29 mar. 2011.

BCB, Banco Central do Brasil. **Comitê de Política Monetária.** Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?COPOM>>. Acesso em: 27 abr. 2011.

BEZERRA, G. **Aproveitamento da água de chuva: estudo de caso no AISP- Guarulhos**. 2007. 47p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

BOTELHO, M.; RIBEIRO JÚNIOR, G. **Instalações Hidráulicas Prediais Feitas Para Durar**. 1. ed. São Paulo: Pró Editores, 1998.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, n. 59, 26 mar. 2004. Seção 1, p. 266-70.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instrução Normativa nº 01, de 19 de janeiro de 2010. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 jan. 2010. Seção 1, p. 40-41.

CAIXA, Caixa Econômica Federal. **SINAPI: Relatórios de Insumos e de Serviços – RJ – Setembro/11**. Rio de Janeiro: CAIXA, 2011. Disponível em: <http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/programa_des_urbano/SINAPI/>. Acesso em: 02 out. 2011.

CEDAE, Companhia Estadual de Águas e Esgotos. **Estrutura tarifária de agosto de 2010**. Rio de Janeiro: CEDAE, 2009. Disponível em: <http://www.cedae.com.br/div/ESTRUTURA_TARIFARIA_DE_AGOSTO_DE_2010.pdf>. Acesso em: 03 maio 2011.

CEDAE, Companhia Estadual de Águas e Esgotos. **Informativo anual sobre a qualidade da água distribuída para a população do estado do Rio de Janeiro - janeiro a dezembro de 2009**. Rio de Janeiro: CEDAE, 2009. Disponível em: <<http://www.cedae.com.br/div/RelatoriosQualidadeAgua/2009/guandu.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2011.

CLESCERI, L.; GREENBERG, A.; EATON, A. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20. ed. New York: American Water Works Association; American Public Health Association; Water Environment Federation, 1999.

COMAER, Comando da Aeronáutica. **IMA 66-9: Programa de Controle e Combate da Corrosão**. Brasília: COMAER, 1999.

COMAER, Comando da Aeronáutica. **OTMA 1-1-1: Corrosão**. Brasília: COMAER, 1987.

COOMBES, P. J.; KUCZERA, G. Analysis of the Performance of Rainwater Tanks in Australian Capital Cities. In: **International Hydrology and Water Resources Symposium**, 28., 2003, Wollongong. Proceedings... Australia: The Institution of Engineers, 2003.

DI BERNARDO, L; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. PROSAB, Edital 1, 1999.

DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.15, n.2, p.59-68, maio 2010.

FRISSE, C. **Cenários de consumo e uso eficiente de água no Aeroporto Internacional de São Paulo – AISP, em Guarulhos.** 2009. 87f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

GNADLINGER, J. Rumo a um padrão elevado de qualidade da água de chuva coletada em cisternas no semi-árido brasileiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 6., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABCMAC, 2007.

GOMES, J.; WEBER, D. C.; DELONG, C. M. Dimensionamento de Reservatórios de Armazenamento de Águas Pluviais, usando um Critério Financeiro. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.15, n.1, p.89-100, mar. 2010.

ICEA, Instituto de Controle do Espaço Aéreo. **Dados climatológicos do aeroporto do Galeão.** São José dos Campos: ICEA, 2011.

INFRAERO, Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. **Memorial de critérios e condicionantes para instalações de águas pluviais.** Brasília: INFRAERO, 2002.

INFRAERO, Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. **Plano de gestão de recursos hídricos - Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim/Galeão.** Rio de Janeiro: INFRAERO, 2005.

LIAW, C. H.; TSAI, Y. L. Optimum Storage Volume of Rooftop Rainwater Harvesting Systems for Domestic Use. **Journal of the American Water Resources Association**, v.40, n.4, p.901-912, ago. 2004.

MARTINSON, D. B.; THOMAS, T. H. Quantifying the first flush phenomenon. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAIN WATER CATCHMENT SYSTEMS, 12., 2005, Nova Deli. **Anais...** Warwick: International Rainwater Catchment Systems Association, 2005.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações.** 2009. 222p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

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

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Wastewater engineering: collection and pumping of wastewater.** 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1981.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I.; DA SILVA, M. C. C.; RODRIGUES, L. D. B. Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v.4, n.1, p.29-37, jun. 2007.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C.; GARCIA, M. L. An integrated analysis for reservoir volume calculation in rainwater harvesting systems. In: **Simpósio Brasileiro de Construção Sustentável**, 3., 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: CBCS, 2010.

MORUZZI, R.; MURAKAMI, M. **Variação temporal da qualidade da água armazenada para fins de aproveitamento.** In: ENGENHARIA AMBIENTAL: PESQUISA E TECNOLOGIA, v.6, n.3, pp. 243-254, 2009, Espírito Santo do Pinhal.

MURAKAMI, M. **Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento de água pluvial empregando a filtração rápida por meio de filtro de pressão e amido natural de milho como coagulante primário.** 2010. 81p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica.** 4. ed. São Paulo: Rettec Gráfica e Editora, 2006.

RAHMAN, A.; DBAIS, J.; RONALDSON, P.; SHRESTHA, S. Life Cycle Costing of Rainwater Tank as a Component of Water Sensitive Urban Design. In: **International Conference on Rainwater Catchment Systems**, 13., 2007, Sydney. Proceedings... Hilo: IRCSA, 2007.

RIO DE JANEIRO (Estado). **Lei nº 4393, de 16 de setembro de 2004.** Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/135934/lei-4393-04-rio-de-janeiro-rj>>. Acesso em: 1 abr. 2011.

ROEBUCK, R. M.; ASHLEY, R. M. Predicting the Hydraulic and Lyfe-Cicle Cost Performance of Rainwater Harvesting Systems using a Computer Based Modelling Tool. In: **International Conference on Urban Drainage Modelling**, 7., 2006, Melbourne. Proceedings... London: IWA, 2006.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica.** São Paulo: McGraw-Hill, 1991.

SBC. **Informativo SBC – março de 2011.** Rio de Janeiro: SBC, 2011.

SOUSA JÚNIOR, W. C.; RIBEIRO, E. N.; NOLASCO, M. A.; URRUCHI, W. M. I.; ALMEIDA, V. S. Caracterização da qualidade da água após passagem por telhado no aeroporto internacional de São Paulo (AISP). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: ITA, 2009. Disponível em: <http://www.hidroaer.ita.br/PDF/HIDROAER_RelatorioFinal_Anexo_30.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2011.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional.** 6. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis.** 2. ed. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. The United Nations World Water Development Report 2: Water, a shared responsibility. In: **WORLD WATER FORUM**, 4., 2006, Cidade do México. **Anais eletrônicos...** Paris: UNESCO, 2006. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001454/145405E.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** In: VON SPERLING, Marcos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005. v. 1.

WARD, S.; MEMON, F. A.; BUTLER, D. Rainwater Harvesting: Model-Based Design Evaluation. **Water Science & Technology**, v.61, n.1, p.85-96, abr. 2010.

Apêndice A

**Tabelas de dados pluviométricos diários dos anos de 2004 a 2010 da
estação meteorológica do Aeroporto do Galeão (ICEA)**

Ano de 2004												
Dia	Mês											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	13,4	0,0	0,0	0,0	0,0	9,2	0,0	0,0	0,0	1,5	3,5	0,0
2	30,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	7,3	0,2	0,0
3	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,2	0,0	17,0	0,0	0,2
4	1,6	0,0	0,8	1,9	0,0	13,8	0,0	0,0	0,1	5,7	0,0	0,6
5	0,0	0,0	10,7	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	2,0	0,0
6	0,0	60,4	0,0	0,0	0,0	0,0	10,9	0,0	0,0	1,4	2,2	0,0
7	0,0	21,8	0,0	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,3	13,4
8	5,0	3,1	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	2,9	0,1
9	40,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4
10	0,0	2,0	0,0	27,3	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	16,2
11	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,2	0,0	38,4
12	39,7	0,0	0,0	7,0	0,0	1,3	0,2	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,7	0,0
14	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,1	0,2	0,0
15	1,7	8,2	3,8	0,0	38,2	0,0	0,0	0,9	0,0	0,3	0,0	0,0
16	18,4	33,4	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	15,3	0,0
17	0,0	0,4	0,0	0,2	0,0	0,0	9,7	0,0	0,6	0,0	1,5	0,0
18	0,0	0,0	7,5	1,7	0,1	0,0	12,0	0,0	2,4	0,0	0,5	5,7
19	0,0	1,2	0,0	0,0	1,9	0,0	18,8	0,0	0,0	2,0	6,0	0,3
20	0,0	3,1	3,2	0,6	4,6	0,0	18,8	0,0	0,0	6,1	0,0	4,1
21	0,0	2,6	0,5	5,5	0,8	0,0	0,9	0,0	0,0	4,2	0,0	3,3
22	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0
23	0,0	17,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	23,4
24	0,0	13,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	7,8	0,0	12,8
25	0,0	3,3	0,0	64,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,0	0,0
26	0,0	16,0	0,0	2,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9
27	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	4,8	0,1
28	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	0,0	0,0	9,0	0,0
29	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	41,3	0,0
30	0,0	-	20,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0	0,0	0,0
31	0,0	-	0,0	-	0,7	-	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0

Ano de 2005												
Dia	Mês											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,0	1,6	3,6	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	0,6
2	0,0	1,7	0,5	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,9	2,1	4,9	15,3
3	0,0	0,0	55,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	10,1	5,8
4	0,2	38,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0
5	1,9	3,7	0,0	2,5	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
6	0,2	1,4	0,0	4,0	0,0	0,0	5,1	0,0	2,4	0,0	0,0	3,4
7	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,3	0,0	1,8	0,0	12,6	5,8
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	1,1	0,0	5,5	1,9
9	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,3	10,0	0,2
11	44,6	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	2,3	31,1
12	17,9	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	4,3	0,0	0,0	2,2
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	1,7	0,0	0,3
15	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
17	0,3	0,0	3,9	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,2	0,7	0,0
18	64,6	0,0	10,4	23,1	0,0	0,0	1,7	0,0	2,7	0,0	0,0	2,6
19	3,7	0,0	3,8	0,0	0,0	0,0	14,0	0,0	0,0	10,3	0,4	4,4
20	7,8	6,4	5,7	0,0	0,0	9,0	14,3	0,0	0,0	0,0	13,9	4,3
21	0,0	1,3	1,8	13,9	0,0	22,0	0,0	0,0	2,4	0,0	1,2	4,1
22	0,0	0,0	0,4	12,1	18,2	1,7	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0
23	27,5	0,0	1,1	54,9	1,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,3	0,0	0,0
24	1,5	0,0	7,2	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	1,2
25	0,2	0,0	17,5	0,0	21,4	0,0	0,2	2,0	5,2	0,0	22,5	35,8
26	41,6	1,0	9,0	24,0	0,1	0,0	0,6	3,3	2,3	0,0	48,7	0,0
27	7,6	2,8	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0
28	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,9	0,0	0,0
29	0,0	-	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
30	1,5	-	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	1,2	0,0
31	7,5	-	0,0	-	0,0	-	0,0	0,0	-	9,1	-	0,0

Ano de 2006												
Dia	Mês											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	15,6	0,2	0,0	0,4	0,0	1,2	0,0	0,0	1,5	0,0	5,3	0,2
2	4,0	1,4	0,0	0,1	0,0	3,4	1,4	0,3	12,5	5,3	2,7	0,0
3	5,6	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	3,8	0,0
4	40,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,2	0,0	0,0	0,0
5	9,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
6	2,6	0,0	11,9	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	1,0	10,9	0,0	3,2
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	87,1	1,0	0,1
8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,2	0,0
9	0,0	13,5	0,0	19,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
10	0,0	31,2	0,0	17,1	4,5	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	24,3	0,0
11	0,0	5,3	5,2	0,0	0,1	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,6
12	0,0	8,7	3,5	0,0	3,2	1,6	0,0	0,0	0,0	0,6	3,7	0,4
13	0,0	13,1	0,0	0,0	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0	4,2	1,0	0,0
14	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	25,2	0,0
15	0,0	3,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	9,4
16	0,0	6,6	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0
17	0,0	6,4	0,0	38,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	21,5	3,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	2,6	13,3	0,0	0,0
20	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	33,6	15,8	3,6	14,3	0,1
21	0,0	7,3	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	0,9	16,1
22	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,1
23	0,0	0,0	0,0	0,0	14,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,4
24	2,1	8,2	0,0	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	9,5
25	3,6	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0
26	0,7	0,1	14,6	0,0	0,0	2,6	0,0	0,0	4,0	0,0	3,5	0,3
27	0,0	0,1	3,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	40,5	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4
29	0,0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	11,2	0,0	0,0	12,9	12,3
30	0,0	-	1,0	0,0	0,0	0,0	6,8	0,0	9,8	0,0	6,3	0,2
31	74,4	-	0,3	-	0,0	-	5,3	0,0	-	0,0	-	12,4

Ano de 2007												
Dia	Mês											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	12,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0
2	3,0	27,6	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,2
3	15,7	0,0	0,0	0,0	7,3	12,2	0,0	0,0	0,0	0,0	12,8	0,0
4	1,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,2	0,0
5	2,7	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	20,0	0,0
6	0,1	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	2,9	0,9
7	11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	12,6
8	14,5	0,0	0,0	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
9	0,3	0,0	0,0	16,6	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0
11	0,0	34,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	27,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	37,9	45,9
13	15,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	24,0
14	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,1
15	3,9	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	2,1	0,3
16	7,3	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	13,8	0,0	0,0	0,0	9,5	0,0
17	1,8	0,0	5,4	0,2	0,0	0,8	0,0	0,0	4,4	0,0	0,5	0,0
18	2,9	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,0	3,2	0,0	24,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	13,4
20	0,0	0,0	1,5	0,0	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0
21	6,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,7
22	17,2	0,0	1,1	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	4,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0	0,1	0,0	0,0	2,8	0,0	14,6
24	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	3,6	0,0	0,0	100,5	0,0	0,1
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	2,5	0,0	0,0	8,9	0,0	0,0
26	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,2	0,0	0,0
27	6,3	0,0	0,0	12,7	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	6,9	3,8	0,0
28	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	2,0	8,7	8,6	0,0	0,0	0,0
29	13,6	-	0,0	0,0	0,0	15,3	7,6	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0
30	0,4	-	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0	-	0,0	-	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	-	0,0

Ano de 2008												
Dia	Mês											
	1	2	3	4	5	6	7	8*	9	10	11	12
1	0,0	3,0	13,5	0,0	2,7	13,0	0,0	0,0	0,0	12,2	0,3	0,0
2	0,0	5,9	0,0	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4	0,0	0,0
3	0,0	33,1	0,0	5,9	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	14,0
4	0,0	32,3	0,0	1,3	0,0	0,0	39,0	2,6	0,0	1,6	0,0	0,0
5	15,7	2,3	0,0	11,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,5	0,0
6	5,2	10,5	0,0	5,7	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	2,9	7,6	0,0
7	0,0	1,0	0,0	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	1,7	2,1	0,0
8	0,0	9,8	0,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,8	6,3	4,8	0,3	0,0
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	4,8	0,0	0,0
10	0,0	7,2	0,0	16,6	3,6	0,0	0,0	26,3	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,4	0,0	2,6	0,5	6,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,3	2,5
12	20,8	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,1	4,0
13	0,0	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	2,4
14	0,0	3,3	62,9	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	37,1	15,4
15	7,2	0,0	34,3	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	0,0	0,1	6,2
16	0,0	0,0	9,0	2,3	0,0	5,5	0,0	0,0	6,6	0,0	0,0	5,6
17	11,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,0	17,5	7,6
18	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	3,1	10,9	4,3
19	13,4	0,0	0,0	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	3,7	9,7
20	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,4
21	44,2	34,5	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0
22	7,3	1,9	0,0	17,6	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	3,8
23	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	7,4	0,0	6,0	0,0	0,0	6,3	0,0
24	0,0	4,0	4,0	0,0	0,0	2,0	0,0	2,3	0,0	0,0	8,1	6,1
25	0,0	3,0	54,7	0,0	0,0	16,7	0,0	0,0	0,5	0,0	1,3	19,8
26	4,5	12,2	73,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	20,4	0,0	2,4	8,7
27	0,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,6	11,1
28	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2	0,0	0,1	1,5
29	16,1	0,0	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,7	0,0
30	4,3	-	10,8	16,1	12,4	0,0	0,0	0,2	0,0	9,5	0,2	0,0
31	3,5	-	0,0	-	0,4	-	0,0	10,8	-	2,1	-	0,1

* Dados da estação meteorológica Rio de Janeiro (INMET)

Ano de 2009												
Dia	Mês											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,0	0,0	0,0	11,3	16,9	2,0	0,0	0,0	0,0	1,2	9,9	0,0
2	20,7	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4
3	0,4	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,4
4	0,7	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	2,1	0,1	0,0	37,4
5	7,3	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	9,6
6	12,3	0,0	0,0	7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,0
7	0,1	12,3	0,0	6,0	0,6	0,0	0,0	0,0	10,8	0,0	0,0	3,0
8	0,0	9,5	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,4	0,1	17,9
9	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	38,9	2,0	23,6
10	0,0	10,2	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,9	46,1	4,2
11	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	0,2	1,0	4,9	0,0	0,0	67,7	0,2
12	0,0	60,1	1,2	0,0	0,0	23,0	3,3	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0
13	0,5	2,8	13,9	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0	0,0	3,0	2,1	6,4
14	0,0	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,7	0,0	0,5
15	1,7	0,0	0,1	1,0	0,0	0,0	2,3	0,0	4,8	3,7	29,5	0,0
16	0,4	0,0	0,0	1,6	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	65,0	0,0
17	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	0,0	22,3
18	34,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19	12,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	0,4	0,0	56,9	0,0	0,0
20	24,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4	9,8	1,0	0,4	0,0	0,0
21	78,6	0,0	0,0	23,1	0,0	0,0	0,0	2,6	28,0	0,0	0,0	0,0
22	14,0	0,0	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	0,8	0,0	0,0
23	3,9	0,0	1,2	14,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,8	0,0	0,0
24	2,5	15,1	0,4	0,0	0,0	0,0	1,5	0,1	7,6	0,0	0,4	0,0
25	0,0	4,7	0,1	0,0	0,0	3,7	15,1	4,9	1,6	0,2	28,5	0,8
26	2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	1,7	0,0	0,1
27	13,0	0,0	0,0	19,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,8	0,0	32,5
28	4,6	0,0	20,5	0,0	10,4	12,1	10,2	0,0	0,0	1,7	0,0	54,3
29	3,5	-	0,2	0,0	23,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	13,7	40,5
30	8,1	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	7,8	0,0	0,0	89,4
31	9,9	-	10,4	-	0,0	-	0,0	0,0	-	0,0	-	73,6

Ano de 2010												
Dia	Mês											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11*	12*
1	0,2	0,0	25,2	2,0	0,0	15,1	0,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,0
2	0,0	0,0	12,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	0,0
3	0,0	0,0	10,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	1,2	0,0	12,0
4	0,0	0,0	9,9	6,5	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,2
5	15,1	0,0	0,4	104,8	0,0	1,9	0,0	0,0	0,1	2,2	0,0	0,0
6	0,0	0,0	51,7	198,6	0,0	0,4	0,0	2,3	0,3	0,0	0,3	0,0
7	0,0	0,0	0,1	16,5	0,0	0,0	0,0	2,2	1,5	1,1	22,3	0,3
8	0,0	0,0	0,2	6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	1,2	0,0	2,3
9	0,0	6,7	0,0	6,9	51,9	0,0	0,0	0,0	0,1	0,9	0,0	0,0
10	0,0	0,8	0,0	4,9	4,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	0,1	0,0	0,0	1,1	4,1	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,1	5,9	3,8	1,5	0,0	0,0	1,8	0,3	0,0
13	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0
14	23,6	0,0	55,2	0,1	0,0	0,0	14,3	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9
15	76,9	0,0	10,5	0,0	0,0	0,0	2,5	0,3	0,0	0,0	0,7	23,9
16	10,4	0,0	29,8	0,0	0,0	0,0	6,6	2,1	1,9	0,0	0,0	19,2
17	0,0	1,5	20,6	0,0	0,0	0,0	18,9	0,1	0,0	2,5	3,8	0,0
18	0,0	34,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,6	13,3	3,6	0,0
19	6,3	0,5	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	2,6	2,7	0,0	0,0
20	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,7	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,8	0,0
22	20,3	0,0	0,0	0,0	0,3	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	20,8	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	0,0	0,0	0,0	10,7	0,0	49,4
24	0,6	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,4	0,0	0,2	0,5	2,8	6,0
25	68,4	8,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	1,6	5,4	2,3
26	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	25,7	5,4	0,0
27	0,0	0,0	0,0	2,5	0,3	0,0	0,0	0,0	5,1	11,3	2,0	0,0
28	0,0	0,9	0,0	9,3	1,3	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	35,5
29	0,0	-	18,9	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	5,9
30	0,0	-	11,1	1,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	10,7
31	0,0	-	53,2	-	1,0	-	0,0	0,0	-	0,0	-	7,0

* Dados da estação meteorológica Rio de Janeiro (INMET)

Apêndice B

**Código do programa de dimensionamento do reservatório de águas
pluviais em VBA**

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

```
Application.ScreenUpdating = False
```

```
' CARREGAMENTO DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO
```

```
Dim n As Byte
```

```
n = Worksheets(1).Range("B13").Value
```

```
Dim i As Byte
```

```
For i = 0 To (n - 1)
```

```
ActiveSheet.Range(Cells(3, 5 + 12 * i), Cells(33, 5 + 12 * i)).Copy
Worksheets(i + 2).Range(Worksheets(i + 2).Cells(2, 2), Worksheets(i + 2).Cells(32,
2)).PasteSpecial Paste:=xlValues
ActiveSheet.Range(Cells(3, 6 + 12 * i), Cells(31, 6 + 12 * i)).Copy
Worksheets(i + 2).Range(Worksheets(i + 2).Cells(33, 2), Worksheets(i + 2).Cells(61,
2)).PasteSpecial Paste:=xlValues
ActiveSheet.Range(Cells(3, 7 + 12 * i), Cells(33, 7 + 12 * i)).Copy
Worksheets(i + 2).Range(Worksheets(i + 2).Cells(62, 2), Worksheets(i + 2).Cells(92,
2)).PasteSpecial Paste:=xlValues
ActiveSheet.Range(Cells(3, 8 + 12 * i), Cells(32, 8 + 12 * i)).Copy
Worksheets(i + 2).Range(Worksheets(i + 2).Cells(93, 2), Worksheets(i + 2).Cells(122,
2)).PasteSpecial Paste:=xlValues
ActiveSheet.Range(Cells(3, 9 + 12 * i), Cells(33, 9 + 12 * i)).Copy
Worksheets(i + 2).Range(Worksheets(i + 2).Cells(123, 2), Worksheets(i + 2).Cells(153,
2)).PasteSpecial Paste:=xlValues
ActiveSheet.Range(Cells(3, 10 + 12 * i), Cells(32, 10 + 12 * i)).Copy
Worksheets(i + 2).Range(Worksheets(i + 2).Cells(154, 2), Worksheets(i + 2).Cells(183,
2)).PasteSpecial Paste:=xlValues
ActiveSheet.Range(Cells(3, 11 + 12 * i), Cells(33, 11 + 12 * i)).Copy
Worksheets(i + 2).Range(Worksheets(i + 2).Cells(184, 2), Worksheets(i + 2).Cells(214,
2)).PasteSpecial Paste:=xlValues
ActiveSheet.Range(Cells(3, 12 + 12 * i), Cells(33, 12 + 12 * i)).Copy
Worksheets(i + 2).Range(Worksheets(i + 2).Cells(215, 2), Worksheets(i + 2).Cells(245,
2)).PasteSpecial Paste:=xlValues
ActiveSheet.Range(Cells(3, 13 + 12 * i), Cells(32, 13 + 12 * i)).Copy
Worksheets(i + 2).Range(Worksheets(i + 2).Cells(246, 2), Worksheets(i + 2).Cells(275,
2)).PasteSpecial Paste:=xlValues
ActiveSheet.Range(Cells(3, 14 + 12 * i), Cells(33, 14 + 12 * i)).Copy
Worksheets(i + 2).Range(Worksheets(i + 2).Cells(276, 2), Worksheets(i + 2).Cells(306,
2)).PasteSpecial Paste:=xlValues
ActiveSheet.Range(Cells(3, 15 + 12 * i), Cells(32, 15 + 12 * i)).Copy
Worksheets(i + 2).Range(Worksheets(i + 2).Cells(307, 2), Worksheets(i + 2).Cells(336,
2)).PasteSpecial Paste:=xlValues
ActiveSheet.Range(Cells(3, 16 + 12 * i), Cells(33, 16 + 12 * i)).Copy
Worksheets(i + 2).Range(Worksheets(i + 2).Cells(337, 2), Worksheets(i + 2).Cells(367,
2)).PasteSpecial Paste:=xlValues
```

```

Next i

For i = 2 To (n + 1)
    If Worksheets(i).Cells(61, 2).Value <> Number Then
        Worksheets(i).Rows(61).Delete
        Worksheets(i).Range("G61").ClearContents
        If Worksheets(i).Range("H60").Value < 0 Then
            Worksheets(i).Range("G61").Value = 0
        Else: Worksheets(i).Range("G61").Formula =
Worksheets(i).Range("H60").Formula
        End If
    End If
End If
Next i

Application.ScreenUpdating = True

End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()

    ' RESOLUÇÃO DOS PROBLEMAS DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA

    Dim n As Byte

    n = Worksheets(1).Range("B13").Value

    Dim i As Byte

    For i = 2 To (n + 1)
        Worksheets(i).Select
        SOLVER.SolverSolve
    Next i

    Worksheets(1).Range("B22").Value = Worksheets(2).Range("P13").Value

    For i = 3 To n
        If Worksheets(i).Range("P13").Value > Worksheets(1).Range("B22").Value Then
            Worksheets(1).Range("B22").Value = Worksheets(i).Range("P13").Value
        End If
    Next i

    For i = 2 To (n + 1)
        Worksheets(i).Range("F2").Value = Worksheets(1).Range("B22").Value
    Next i

    Dim vchuva As Single
    Dim vchuva_p As Single
    Dim supr As Single
    Dim supr_p As Single
    Dim dpvchuva As Single

```

```

Dim dpvchuva_p As Single
Dim dpsupr As Single
Dim dpsupr_p As Single
Dim desvpadvchuva As Single
Dim desvpadsupr As Single

vchuva = 0
supr = 0
dpvchuva = 0
dpsupr = 0

For i = 2 To (n + 1)
    vchuva_p = vchuva + Worksheets(i).Range("P27").Value
    vchuva = vchuva_p
    supr_p = supr + Worksheets(i).Range("P30").Value
    supr = supr_p
Next i

For i = 2 To (n + 1)
    dpvchuva_p = dpvchuva + (Worksheets(i).Range("P27").Value - vchuva / n) *
(Worksheets(i).Range("P27").Value - vchuva / n)
    dpvchuva = dpvchuva_p
    dpsupr_p = dpsupr + (Worksheets(i).Range("P30").Value - supr / n) *
(Worksheets(i).Range("P30").Value - supr / n)
    dpsupr = dpsupr_p
Next i

desvpadvchuva = Math.Sqrt(dpvchuva / (n - 1))
desvpadsupr = Math.Sqrt(dpsupr / (n - 1))

Worksheets(1).Range("B24").Value = vchuva / n - 1.96 * desvpadvchuva
Worksheets(1).Range("B25").Value = supr / n + 1.96 * desvpadsupr

Dim Msg, Style, Title, Response

Msg = "Volume do reservatório = " & Worksheets(1).Range("B22").Value & " m³" &
Chr(13) & Chr(13) & "VPR_chuva = R$" & Worksheets(1).Range("B26").Value
Style = vbOKOnly
Title = "DIMENSIONADOR DE RESERVATÓRIO DE ÁGUAS PLUVIAIS"

Response = MsgBox(Msg, Style, Title)

End Sub

```

Apêndice C

Tabelas de registro de coleta de amostras de água de chuva

1ª coleta

Data da coleta	27/05/2011
Quantidade de dias sem chuva	1
Hora do início da coleta	14:32
Hora do término da coleta	15:00
Quantidade de amostras coletadas	2
Descartes associados às amostras (mm)	0,5 e 1,0

2ª coleta

Data da coleta	04/06/2011
Quantidade de dias sem chuva	6
Hora do início da coleta	17:05
Hora do término da coleta	18:10
Quantidade de amostras coletadas	5
Descartes associados às amostras (mm)	0,0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0

3ª coleta

Data da coleta	14/06/2011
Quantidade de dias sem chuva	4
Hora do início da coleta	17:49
Hora do término da coleta	18:45
Quantidade de amostras coletadas	6
Descartes associados às amostras (mm)	0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 4,4

4ª coleta

Data da coleta	07/07/2011
Quantidade de dias sem chuva	4
Hora do início da coleta	9:45
Hora do término da coleta	11:43
Quantidade de amostras coletadas	6
Descartes associados às amostras (mm)	0,0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5

Apêndice D

Tabelas de resultados das análises físico-químicas e microbiológicas

Turbidez (uT)					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		20 ± 1	35 ± 1	48 ± 5
	2	5,4 ± 0,1	9,2 ± 0,1	15 ± 1	18 ± 1
	3	3,7 ± 0,1	4,9 ± 0,1	8,7 ± 0,1	11 ± 1
	4		2,6 ± 0,1	4,6 ± 0,1	5,1 ± 0,1
	5		2,2 ± 0,1	3,2 ± 0,1	4,3 ± 0,1
	6			3,2 ± 0,1	3,3 ± 0,1

Cor aparente (uH)					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		148 ± 10	242 ± 10	285 ± 20
	2	59 ± 5	87 ± 5	119 ± 10	141 ± 10
	3	28 ± 1	59 ± 5	95 ± 5	100 ± 5
	4		21 ± 1	69 ± 5	66 ± 5
	5		9 ± 1	29 ± 1	31 ± 1
	6			38 ± 1	27 ± 1

Cor verdadeira (uH)					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		8 ± 1	48 ± 1	27 ± 1
	2	4 ± 1	8 ± 1	29 ± 1	19 ± 1
	3	0 ± 1	5 ± 1	20 ± 1	13 ± 1
	4		0 ± 1	15 ± 1	11 ± 1
	5		0 ± 1	6 ± 1	0 ± 1
	6			10 ± 1	0 ± 1

pH					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		5,73 ± 0,01	4,96 ± 0,01	5,05 ± 0,01
	2	5,34 ± 0,01	5,45 ± 0,01	4,98 ± 0,01	5,06 ± 0,01
	3	5,71 ± 0,01	5,52 ± 0,01	5,23 ± 0,01	4,95 ± 0,01
	4		5,49 ± 0,01	5,22 ± 0,01	4,93 ± 0,01
	5		5,64 ± 0,01	5,25 ± 0,01	5,07 ± 0,01
	6			5,31 ± 0,01	5,09 ± 0,01

Temperatura (°C)					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		20,9 ± 0,1	20,4 ± 0,1	19,9 ± 0,1
	2	21,0 ± 0,1	20,2 ± 0,1	19,8 ± 0,1	19,9 ± 0,1
	3	19,4 ± 0,1	20,7 ± 0,1	19,2 ± 0,1	19,9 ± 0,1
	4		20,4 ± 0,1	19,5 ± 0,1	19,9 ± 0,1
	5		20,4 ± 0,1	20,2 ± 0,1	19,9 ± 0,1
	6			19,9 ± 0,1	20,0 ± 0,1

Coliformes totais (NMP/100 mL)					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		436	250	314
	2		28	24	93
	3		602	236	37
	4		14	2	18
	5		5	208	12
	6			65	5

Coliformes termotolerantes – E. coli (NMP/100 mL)					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		1	0	13
	2		0	0	5
	3		0	0	0
	4		0	0	0
	5		0	0	0
	6			0	0

DBO (mg/L)					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		9,5 ± 1,3	6,1 ± 2,1	4,6 ± 0,1
	2	4,3 ± 1,1	7,8 ± 4,5	2,4 ± 0,2	3,0 ± 0,2
	3	3,3 ± 0,3	9,6 ± 4,1	0,7 ± 0,4	2,2 ± 0,2
	4		3,7 ± 4,3	0,7 ± 0,4	1,6 ± 0,5
	5		4,5 ± 5,5	0,4 ± 0,1	1,5 ± 0,4
	6			0,2 ± 0,1	1,3 ± 0,4

Resultados expressos com nível de confiança igual a 95%.

Fluoreto (mg/L)					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		0,06 ± 0,06	0,21 ± 0,05	0,18 ± 0,25
	2	0,02 ± 0,04	0,03 ± 0,00	0,12 ± 0,04	0,14 ± 0,04
	3	0,03 ± 0,03	0,04 ± 0,03	0,05 ± 0,02	0,14 ± 0,03
	4		0,08 ± 0,06	0,05 ± 0,12	0,13 ± 0,08
	5		0,04 ± 0,01	0,03 ± 0,02	0,13 ± 0,07
	6			0,03 ± 0,01	0,14 ± 0,08

Resultados expressos com nível de confiança igual a 95%.

Cloreto (mg/L)					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		12,24 ± 3,27	41,86 ± 0,23	8,39 ± 0,01
	2	0,56 ± 0,08	14,92 ± 0,31	14,09 ± 0,39	4,18 ± 0,08
	3	0,94 ± 0,01	26,97 ± 1,44	1,99 ± 0,43	2,00 ± 0,02
	4		15,71 ± 0,10	2,07 ± 0,21	1,91 ± 0,21
	5		46,24 ± 0,25	1,80 ± 0,12	2,17 ± 0,08
	6			8,06 ± 0,55	2,46 ± 0,29

Resultados expressos com nível de confiança igual a 95%.

Nitrato (mg/L)					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		4,35 ± 0,84	10,08 ± 117,25	9,26 ± 0,10
	2	1,53 ± 1,70	4,13 ± 0,01	5,92 ± 0,56	5,83 ± 0,01
	3	2,33 ± 0,99	2,25 ± 0,17	0,82 ± 0,60	4,25 ± 0,10
	4		1,24 ± 0,15	0,65 ± 0,02	4,13 ± 0,35
	5		6,02 ± 0,19	0,45 ± 0,06	4,78 ± 0,04
	6			0,97 ± 0,08	5,31 ± 0,60

Resultados expressos com nível de confiança igual a 95%.

Fosfato (mg/L)					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		0,00 ± 0,00	35,02 ± 444,21	0,00 ± 0,00
	2	0,15 ± 1,85	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,05
	3	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,50 ± 6,34	0,00 ± 0,05
	4		0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,05
	5		0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,05
	6			0,03 ± 0,31	0,00 ± 0,05

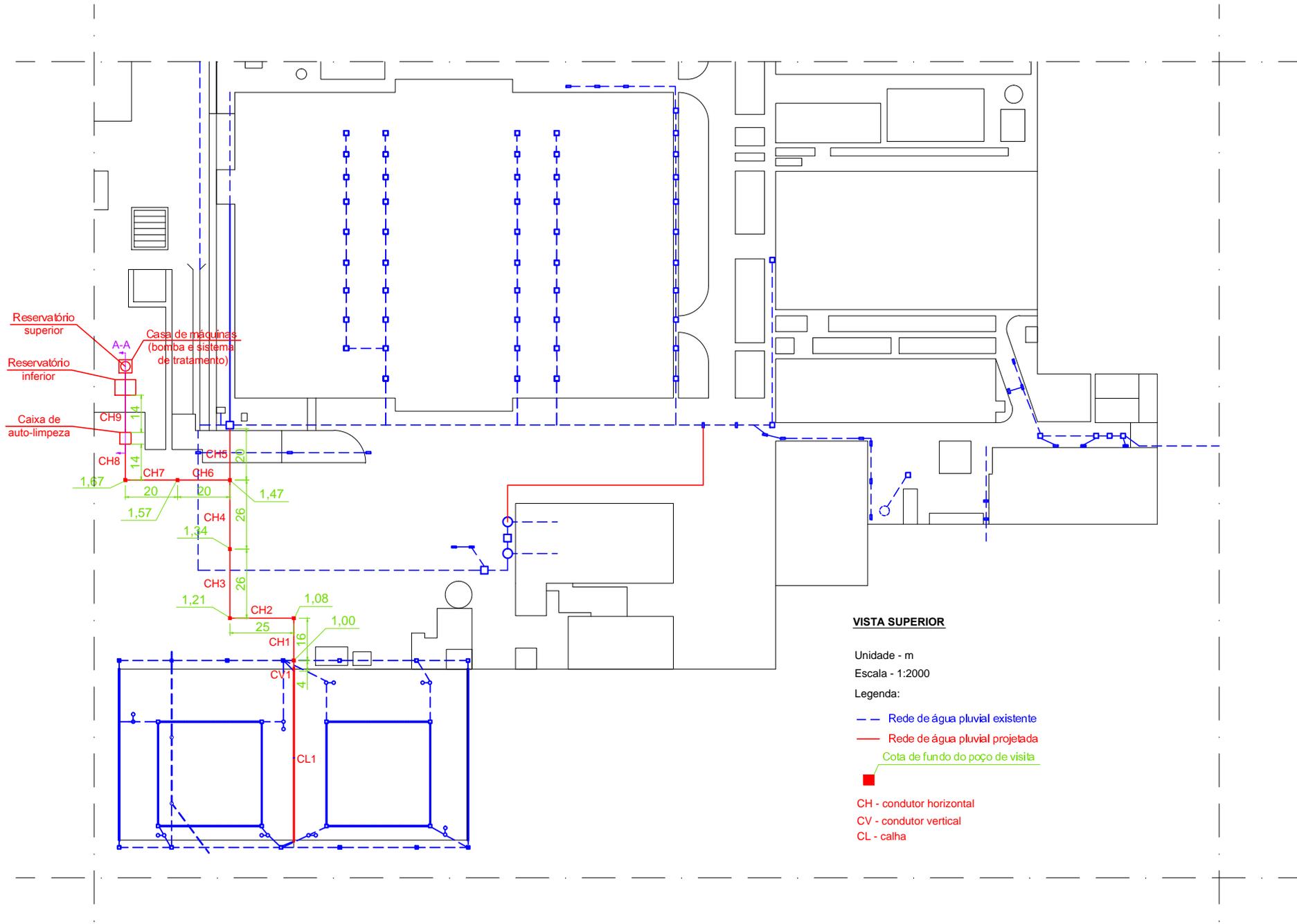
Resultados expressos com nível de confiança igual a 95%.

Sulfato (mg/L)					
		Data da coleta			
		27/05/2011	04/06/2011	14/06/2011	07/07/2011
Amostra	1		9,59 ± 3,13	14,38 ± 181,05	16,43 ± 0,47
	2	1,14 ± 12,08	10,64 ± 1,44	11,59 ± 2,73	10,19 ± 0,26
	3	3,26 ± 0,06	3,13 ± 39,80	3,20 ± 0,06	7,27 ± 0,24
	4		6,70 ± 0,40	3,63 ± 0,21	8,35 ± 0,24
	5		21,63 ± 0,08	2,72 ± 0,30	9,40 ± 0,15
	6			4,60 ± 0,05	10,46 ± 0,93

Resultados expressos com nível de confiança igual a 95%.

Apêndice E

Sistema de aproveitamento de águas pluviais do PAMA-GL



Reservatório superior
 Reservatório inferior
 Caixa de auto-limpeza

Casa de máquinas
 (bomba e sistema de tratamento)

A-A

CH9
 CH8
 CH7
 CH6
 CH5
 CH4
 CH3
 CH2
 CH1
 CV1
 CL1

1,67
 1,57
 1,34
 1,21
 1,08
 1,00

VISTA SUPERIOR

Unidade - m

Escala - 1:2000

Legenda:

--- Rede de água pluvial existente

— Rede de água pluvial projetada

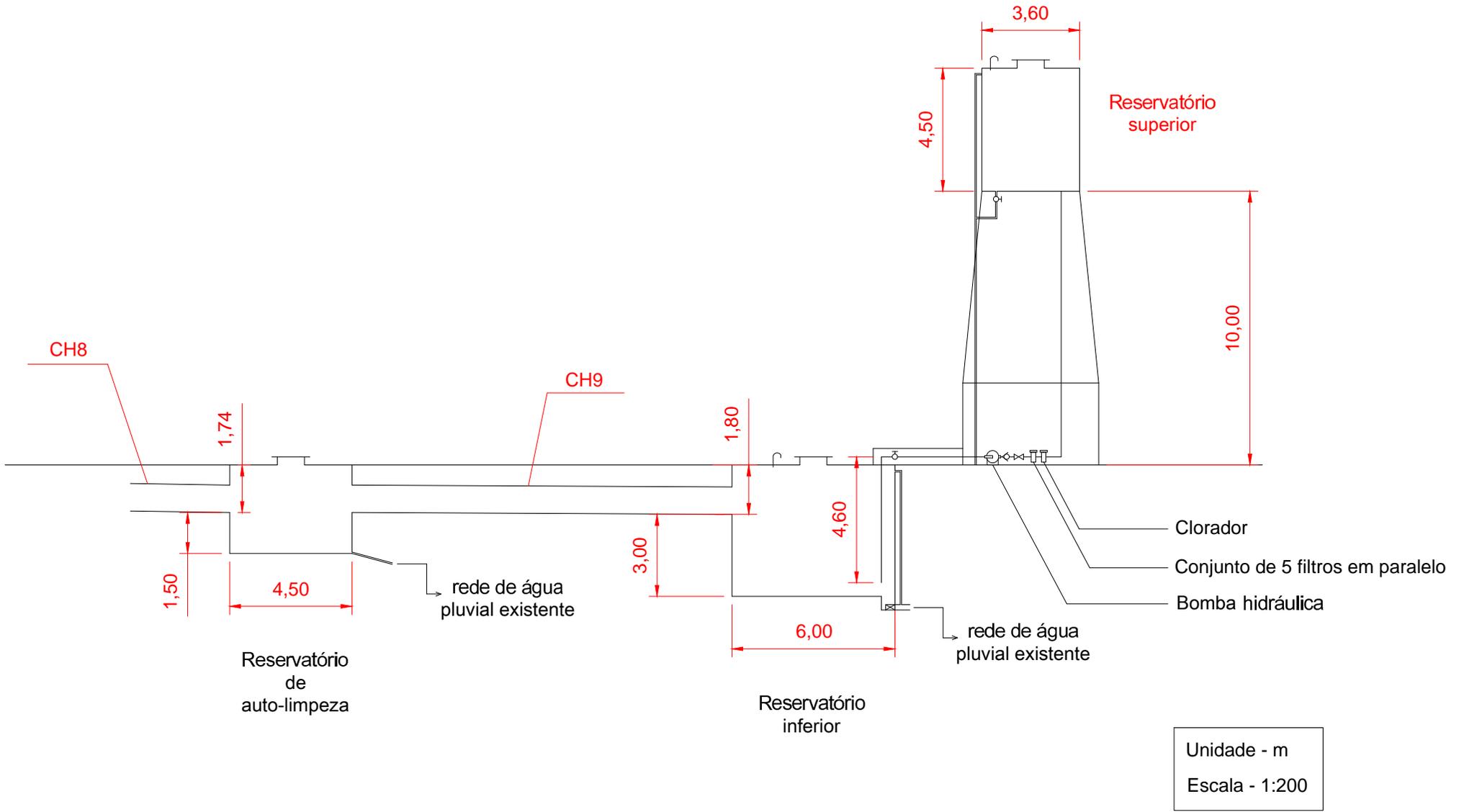
■ Cota de fundo do poço de visita

CH - condutor horizontal

CV - condutor vertical

CL - calha

CORTE A-A



FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 01 de novembro de 2011	3. REGISTRO N° DCTA/ITA/TC-036/2011	4. N° DE PÁGINAS 138
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Aproveitamento de águas pluviais em instalações militares do Comando da Aeronáutica: aplicação ao caso do PAMA-GL			
6. AUTOR(ES): Mayara Condé Rocha Murça			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Desenvolvimento sustentável; aproveitamento; água de chuva; Comando da Aeronáutica			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Tratamento de água; Reciclagem; Chuvas; Abastecimento de água; Engenharia sanitária.			
10. APRESENTAÇÃO: X Nacional Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Graduação em Engenharia Civil-Aeronáutica. Orientador: Prof. Dr. Marcelo De Julio; coorientador: Maj Eng Marcio Antonio da Silva Pimentel. Publicado em 2011.			
11. RESUMO: Este trabalho de graduação teve como objetivo avaliar o potencial de aproveitamento de águas pluviais, despertado pelas dimensões das edificações e pelas atividades inerentes ao meio militar, no contexto das instalações do Comando da Aeronáutica. Para isso, foi estudado o caso do PAMA-GL. A partir de análises físico-químicas e microbiológicas de amostras coletadas, foi feita a caracterização da qualidade da água pluvial, com o objetivo de criar parâmetros de projeto. Mostrou-se que a técnica do first flush realmente é eficiente como forma de pré-tratamento, uma vez que foi responsável por redução acentuada dos valores de turbidez, cor e DBO. Se adotado um descarte de 1,5 mm da precipitação inicial, o aproveitamento para fins não potáveis pode ser realizado após tratamento que reduza em 78,2% a cor aparente e em 61% a turbidez e que promova correção de pH e desinfecção. Os resultados da caracterização também indicaram que a água de chuva analisada enquadra-se na classe B, de acordo com a NBR 12216 da ABNT (1992), e na classe 1, de acordo com a Resolução nº 357 do CONAMA (2005), revelando um potencial animador para o aproveitamento para fins potáveis. No que diz respeito a propostas de ampliação da viabilidade econômica de projetos nessa área, desenvolveu-se um novo método de dimensionamento de reservatório baseado na resolução de problemas de programação matemática relacionados à minimização do custo no ciclo de vida. No estudo de caso analisado, utilizando-se a água de chuva em atividades como lavagem de aeronaves, peças, pátios e viaturas e descargas em bacias sanitárias, verificou-se que é possível obter uma redução significativa nos gastos com consumo de água potável anualmente. Dessa forma, espera-se que a metodologia apresentada seja um instrumento de auxílio na elaboração de projetos de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em outras organizações militares no Brasil, permitindo uma redução de gastos da União e uma racionalização no uso dos recursos hídricos.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO			