



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

JÚLIO DE MESQUITA FILHO

CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

JANAINA ANDRÉA DA SILVA

Análise da Viabilidade de Implantação de um Sistema de Captação de Água de
Chuva para Lavagem de Aeronaves e Reuso de Efluentes

Guaratinguetá
2017

JANAINA ANDRÉA DA SILVA

Análise da Viabilidade de Implantação de um Sistema de Captação de Água de
Chuva para Lavagem de Aeronaves e Reuso de Efluentes

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica na área de Gestão Ambiental e Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de
Souza

Guaratinguetá
2017

Silva, Janaina Andréa da
S586a Análise da viabilidade de implantação de um sistema de captação de água de chuva para lavagem de aeronaves e reuso de efluentes / Janaina Andréa da Silva – Guaratinguetá, 2018.
92 f : il.
Bibliografia: f. 75-79

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2018.
Orientador: Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza

1. Água - reutilização. 2. Sustentabilidade. 3. Aeronaves. I. Título.

CDU 628:179.2(043)


Luciana Máximo
Bibliotecária/CRB-8 3595

JANAINA ANDRÉA DA SILVA

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: ENERGIA

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Ana Paula Roschini Alves Claro
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. TEÓFILO MIGUEL DE SOUZA
Orientador / UNESP-FEG


Prof. Dr. OSIRIS CANGILIERI JÚNIOR
PUCPR


Prof. Dr. ELIANA VIEIRA CANETTIERI
UNESP/FEG

Janeiro de 2018

DADOS CURRICULARES
JANAINA ANDRÉA DA SILVA

NASCIMENTO	06.09.1972 – SÃO PAULO/ SP
FILIAÇÃO	Luiz Clarindo da Silva Terezinha Dourado da Silva
1991/1996	Curso de Graduação Engenharia Química na Faculdade de Engenharia Industrial (F.E.I.)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a *Deus* por tudo, pelas oportunidades e realizações que sempre faz em minha vida. Pela força e coragem de vencer cada obstáculo.

Aos meus pais, pelos esforços e dedicação em minha criação e educação e em especial a minha mãe *Terezinha* pelo incentivo constante de enfrentar novos desafios.

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza*, pela oportunidade que me deu, pela sua atenção e empenho em me orientar neste trabalho.

Agradeço a todos os membros da banca, *Prof^{ta}. Dr^a. Eliana Vieira Canettieri*, *Prof. Dr. Osiris Canceglieri Júnior* e *Prof. Dr. Paulo Armando Panunzio*, por terem compartilhado seus conhecimentos através das valiosas contribuições que fizeram e que muito contribuíram para o enriquecimento desta dissertação.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de São Paulo - Guaratinguetá, aos colegas, professores do Campus e demais funcionários, por suas valiosas informações e ações que muito contribuíram para a evolução deste trabalho.

“Se enchermos a cabeça em vez dos bolsos,
não seremos roubados.”

Provérbio chinês

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a viabilidade de implantação de um sistema de captação de água de chuva para abastecer o processo de lavagem de aeronaves na EMBRAER, e este estudo pode ser estendido para aplicação aos centros de manutenção de companhias aéreas nacionais e aeroportos. O trabalho consiste em um estudo de caso. Em sua realização foram analisadas as condições locais para implantar o sistema de coleta de água de chuva, a quantidade de recurso pluvial disponível na região de São José dos Campos, a necessidade de armazenagem de água para suprir períodos de estiagem, a qualidade necessária da água para atender a esta finalidade, e as aplicações para o reuso do efluente da lavagem de aeronaves. Os resultados mostraram que o volume de água de chuva disponível na região é suficiente para abastecer o processo de lavagem das aeronaves e que a água tem qualidade suficiente para esta aplicação. O trabalho mostra ainda que com a reutilização do efluente gerado na lavagem de aeronaves torna a implantação do projeto viável e que além do retorno financeiro, a proposta traz benefício ambiental, preservando o recurso hídrico de boa qualidade.

PALAVRAS-CHAVE: Reuso. Água de chuva. Captação. Sustentabilidade. Aeronaves.

ABSTRACT

The aim of this work was to verify the feasibility of introduce a rainwater harvesting system to supply the aircraft washing process at EMBRAER and this study may be extended to the airlines maintenance centers and airports. This work consists in a case study. To perform this work were studied the local conditions to introduce the rainwater harvesting system, the amount of rainfall available in São José dos Campos, the need to storage water to supply drought periods, the quality of the water to supply the process with security and the applications for reuse the effluent from aircraft washing process. The results showed that the amount of rainwater available in the region is enough to supply the aircrafts washing process and the water is sufficient in quality for this application. The work also showed that the reuse of the effluent generated by the aircraft washing process makes feasible the project implementation. In addition to the financial return, the purpose brings environmental benefits preserving the good quality water resources.

KEYWORDS: Reuse. Rainwater. Harvesting. Sustainability. Aircrafts.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Ábaco para definição do diâmetro das tubulações verticais.....	36
Figura 2 –	Filtro simples auto limpante.....	37
Figura 3 –	Prédio de entregas de aeronaves - frente do pátio.....	39
Figura 4 –	Localização de São José dos Campos.....	40
Figura 5 –	Precipitação mensal de 2017 x série histórica (1981 - 2010), São José dos Campos, Brasil.	41
Figura 6 –	Precipitação mensal de 2014 x série histórica (1981 - 2010), São José dos Campos, Brasil.....	42
Figura 7 -	Precipitação mensal de 2015 x série histórica (1981 - 2010), São José dos Campos, Brasil.....	43
Figura 8 -	Precipitação mensal de 2016 x série histórica (1981 - 2010), São José dos Campos, Brasil.....	44
Figura 9 -	Precipitação mensal de 2017 x histórico da precipitação de 2014 a 2016), São José dos Campos, Brasil.....	45
Figura 10 -	Comparativo série histórica (1989 - 2010) x precipitação de 2014 a 2016	46
Figura 11 -	Gráfico do histórico do consumo de água na lavagem de aeronaves (m ³)	53
Figura 12 -	Kit de coleta de amostras SABESP.....	55
Figura 13 -	Dutos de captação de água de chuva.....	56
Figura 14 -	Prédio de entregas de aeronaves - foto aérea.....	57
Figura 15 -	- Local proposto para implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva.....	62
Figura 16 -	Sistema de aproveitamento de água de chuva.....	64
Figura 17 -	Sistema de reaproveitamento do efluente da lavagem de aeronaves.	65
Figura 18 -	Gráfico de precipitação mensal de 2017 da região 114	67

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 -	Quantidade de aeronaves em operação nas 3 maiores companhias aéreas brasileiras.....	17
Tabela 2 -	Doenças causadas pela água contaminada e seus agentes.....	23
Tabela 3 -	Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis.....	28
Tabela 4 -	Frequência de manutenção e limpeza do sistema de aproveitamento de água.....	29
Tabela 5 -	Dimensionamento das tubulações horizontais.....	35
Tabela 6 -	Dados pluviométricos (mm) região 114 - São José dos Campos - 2017....	42
Tabela 7 -	Dados pluviométricos (mm) região 114 - São José dos Campos - 2014 a 2016.....	44
Tabela 8 -	Histórico do consumo de água na lavagem de aeronaves (m ³).....	47
Tabela 9 -	Desvio padrão dos valores do histórico do consumo de água na lavagem de aeronaves.....	52
Tabela 10 -	Planilha modelo utilizada para controle do volume de água consumida na lavagem de aeronaves.....	54
Tabela 11 -	Dados das análises das amostras de água.....	58
Tabela 12 -	Cálculo da quantidade de água pluvial disponível na região, precipitação de 2014 a 2016.....	61
Tabela 13 -	Cálculo da quantidade de água pluvial disponível na região, precipitação mensal 2017.....	68
Tabela 14 -	Lista de materiais necessários para implantação do projeto.....	70
Tabela 15 -	Tarifas cobradas pela SABESP na região do Vale do Paraíba.....	71
Tabela 16 -	Economia mensal de água e esgoto na lavagem de aeronaves.....	71
Tabela 17 -	Economia mensal de água reaproveitada do efluente de lavagem de aeronaves.....	72
Tabela 18 -	Cálculo total dos ganhos mensais com a implantação do projeto.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
CEPAGRI	Centro de Pesquisas Meteorológicas Aplicadas à Agricultura.
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde.
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
IRPAA	Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada.
NBR	Norma Brasileira.
OMS	Organização Mundial de Saúde.
ONU	Organização das Nações Unidas.
SABESP	Saneamento Básico de São Paulo.

LISTA DE SÍMBOLOS

A	área
cm	centímetro
C	coeficiente de escoamento superficial da cobertura
D(t)	demanda de água em função do tempo
η	fator de captação de água
L	Litro
m	Metro
m ²	metro quadrado
m ³	metro cúbico
mg	miligrama
mL	Mililitro
mm	milímetros
P	Precipitação
Q(t)	volume de chuva aproveitável em função do tempo t.
S(t)	volume de água no reservatório no tempo t
uH	unidade de Hazen
uT	unidade de Turbidez
V	Volume do reservatório
pH	potencial hidrogeniônico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVO.....	15
1.2	JUSTIFICATIVA.....	15
1.3	MOTIVAÇÃO	15
1.4	CONTEXTUALIZAÇÃO	16
1.5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
1.6	DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS.....	24
2	CONDIÇÕES E REQUISITOS PARA O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA NO BRASIL.....	25
2.1	BREVE HISTÓRICO DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA NO BRASIL.....	25
2.2	REQUISITOS DA ABNT NBR 15527 de 2007.....	25
2.2.1	Concepção do sistema de aproveitamento de água da chuva.....	26
2.2.2	Calhas e tubulações.....	26
2.2.3	Reservatórios.....	26
2.2.4	As Instalações prediais da água da chuva.....	27
2.2.5	Qualidade da água.....	28
2.2.6	O Bombeamento da água.....	28
2.2.7	A Manutenção do sistema.....	29
2.2.8	Os Métodos de cálculos para dimensionamento dos reservatórios.....	29
2.3	REQUISITOS MÍNIMOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	33
2.3.1	Área de captação.....	33
2.3.2	As tubulações.....	34
2.3.3	O filtro de água de chuva.....	37
2.3.4	O dispositivo de <i>Flush</i>.....	37
2.3.5	O armazenamento de água pluvial.....	38
2.3.6	As exigências das instalações.....	38
3	PARTE EXPERIMENTAL.....	39
3.1	LOCAL DOS EXPERIMENTOS	39
3.2	A PRECIPITAÇÃO DA CHUVA.....	40

3.3	A DEMANDA.....	46
3.4	A MONTAGEM DO EXPERIMENTO	55
3.5	O MÉTODO DE CÁLCULO.....	58
4.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
4.1	ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO LOCAL.....	66
4.2	ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA.....	68
4.3	CÁLCULO DO <i>PAY BACK</i>	69
5.0	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	74
	REFERÊNCIAS	75

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o tema de trabalho da dissertação quanto o seu objetivo, a justificativa e a motivação. Também foi desenvolvido neste capítulo, a contextualização e a revisão bibliográfica que embasa o estudo.

1.1 OBJETIVO

O objetivo desta dissertação foi analisar a viabilidade de implantação de um sistema de captação de água de chuva como alternativa para abastecer o processo de lavagem de aeronaves comerciais na Empresa Brasileira de Aeronáutica - EMBRAER e, apresentar aplicações concomitantes ou futuras para uso do efluente gerado nesse processo.

Este trabalho é um estudo de caso feito no processo de lavagem de aeronaves na indústria aeronáutica na área da montagem final de jatos comerciais da EMBRAER.

1.2 JUSTIFICATIVA

O aumento das políticas ambientais, legislações e normas regulamentares ambientais, foram os fatores iniciais que obrigaram as organizações a adotar as políticas sustentáveis na fabricação dos seus produtos (STEAD; STEAD, 2000; GEHIN *et al.*, 2008; AJUKUMAR; GANDHI, 2013). Atualmente, os *stakeholders* e a demanda do mercado por produtos *eco-friendly* (DANGELICO, 2015) são os fatores que forçam a manutenção das políticas sustentáveis nos processos de fabricação. A adoção de fatores sustentáveis traz para as organizações uma série de vantagens que as diferencia no mercado. Dentre estas vantagens podemos citar: o aumento da procura por produtos sustentáveis; a melhora da imagem da empresa no mercado e vantagem competitiva; o aumento do volume de negócios; a redução dos custos e aumento da produtividade e consequentemente o aumento de lucro; a redução das despesas com a diminuição do consumo de recursos e na quantidade de resíduos (DANGELICO, 2015).

1.3 MOTIVAÇÃO

Fazendo uma reflexão profunda de fornecer uma contribuição sustentável através deste estudo e, pensando no verdadeiro conceito de sustentabilidade, que envolve não somente a adoção de práticas ambientais mas ações que visam obter uma equalização entre os três pilares da

sustentabilidade que são o meio ambiente, a sociedade e a economia, a adoção do gerenciamento do recurso hídrico através do uso da água tratada somente para as finalidades mais nobres, ou seja, que mandatoriamente demandem abastecimento de água de boa qualidade e, passando a empregar o uso da água de chuva e até mesmo o reuso de efluentes como uma alternativa de abastecimento para aplicações que não demandem água tratada.

Esta é ainda uma pequena contribuição dentro de um universo de oportunidades no qual nos encontramos inseridos mas, certamente que o intuito no desenvolvimento deste estudo foi motivado pelo interesse na preservação do recurso ambiental, visto que a escassez de água é uma realidade em muitos locais de nosso país e do mundo. Com o desenvolvimento deste estudo vislumbrou-se gerar benefícios para a sociedade além do retorno financeiro que sua implantação traz para a empresa.

1.4 CONTEXTUALIZAÇÃO

O crescimento acelerado do consumo trouxe como consequência um aumento da demanda dos recursos naturais. A adoção de práticas sustentáveis tem importante destaque nas empresas como estratégia para minimizar os impactos ambientais, com a finalidade de reduzir a deterioração e o esgotamento de recursos naturais gerados pelos processos produtivos.

Para que uma empresa se mantenha no mercado esta deve gerar produtos mais eficientes e menos agressivos ao meio ambiente e à sociedade (FERNANDES, 2013).

A lavagem de aeronaves é o processo que apresenta o maior consumo de água na montagem final de aeronaves sendo que o volume de água consumido na lavagem de jatos comerciais é de aproximadamente 3.600 litros por unidade. Estimando-se a produção de 100 aeronaves por ano, a necessidade de água para abastecer este processo é de 360 m³/ ano.

Estes dados foram coletados no histórico do processo de lavagem de 120 aeronaves comerciais na EMBRAER medido no período de outubro de 2014 a dezembro de 2016.

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), cada pessoa necessita de 110 L/ dia de água para atender às suas necessidade de consumo e higiene. Porém, no Brasil, o consumo por pessoa pode chegar a 200 L/ dia, conforme dados da Agência Nacional de Água (ANA).

Diante deste cenário, a quantidade de água consumida anualmente no processo de lavagem de aeronaves é o equivalente ao consumo médio anual de uma residência com 5 pessoas.

Em uma possível crise hídrica, faz-se necessário um estudo para identificar fontes alternativas de abastecimento de água.

Desse modo, o projeto propõe a redução da quantidade de água tratada consumida no processo e, também o reuso do efluente gerado na lavagem de aeronaves, através de sugestões de aplicações para finalidades que hoje também utilizam água de boa qualidade desnecessariamente. A redução de custos deste processo ocorre devido a redução do consumo de água tratada utilizada no abastecimento do processo e também na redução no volume de efluente descartado, pois o tratamento deste efluente também é cobrado. Com a finalização deste estudo, ele serve como base para a tomada de decisão na implantação de um sistema de captação de água de chuva para ser usado na EMBRAER de São José dos Campos e também em outras unidades fabricantes de aeronaves de aviação executiva, aviação de defesa e em centros de serviços, hoje localizados em Melbourne, Araraquara e Sorocaba, respectivamente.

Este trabalho também pode ser estendido para aplicação aos centros de manutenção de aeronaves das grandes companhias aéreas nacionais. Estes centros de manutenção geralmente estão localizados nos grandes aeroportos, em áreas fortemente urbanizadas, como Campinas, Guarulhos e Belo Horizonte.

Aeronaves em operação necessitam ser lavadas com frequência para mitigar a corrosão, eliminar resíduos da superfície e conseqüentemente reduzir o arrasto e o consumo de combustível. Além destes fatores, há ainda o fator estético e conforto que está relacionado a confiabilidade do passageiro. Por isso, a frequência mínima de lavagem de aeronaves em operação é semestral.

Contabilizando somente a frota das 3 maiores companhias aéreas nacionais, hoje este número é de 412 aeronaves de porte similar a do estudo, com previsão de atingir 660 aeronaves até o final de 2019, conforme apresentam os dados da Tabela 1.

Tabela 1. Quantidade de aeronaves em operação nas 3 maiores companhias aéreas brasileiras e previsão de expansão para 2019.

Companhia	Localização	Quantidade de Aeronaves	Pedidos para 2019
LATAM	Guarulhos - SP	156	61
AZUL	Viracopos - SP	130	112
GOL	Confins - MG	126	75
TOTAL	—	412	248

Fonte: www.latam.com; www.voegol.com.br; www.voeazul.com.br; consultado em 20.12.2017.

Atualmente, no processo de lavagem de aeronaves, emprega-se recursos hídricos de qualidade superior à necessária. A água empregada no processo é de captação subterrânea ou água tratada de abastecimento público, ou seja, de boa qualidade. No caso de futuramente vir a ser implantado um sistema de aproveitamento de água de chuva como alternativa de abastecimento, a água empregada hoje neste processo pode vir a ser destinada a outras finalidade mais nobres. Com este gerenciamento do recurso hídrico, conseqüentemente, haverá a redução da captação de água subterrânea, preservando o nível das águas e contribuindo para sua capacidade de recuperação.

Outro ganho a ressaltar com a introdução deste sistema é a redução do consumo de energia elétrica. Deve ser levado em consideração que há gasto de energia e de recursos no tratamento da água para o abastecimento, no tratamento dos efluentes e também na captação, com o seu bombeamento.

A lavagem de aeronaves é um processo relativamente simples, em que os resíduos finais são constituídos basicamente de água, detergente biodegradável e poeira (terra). Este efluente, que possui baixa contaminação, poderia também vir a ser minimamente tratado mediante filtração e cloração e reutilizado em aplicações compatíveis, de modo que possa contribuir com a redução do consumo de água de boa qualidade, hoje utilizada nestas aplicações. Como exemplo, pode-se citar o uso do efluente para descarga de toaletes, jardinagem, lavagem de pisos e pátios. Novamente estaríamos preservando o uso da água tratada, utilizando o descarte do processo como fonte alternativa de abastecimento.

O presente estudo serve como um anteprojeto para analisar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de captação de água de chuva para o abastecimento do processo de lavagem de aeronaves comerciais. Neste trabalho, também foram feitas as análises qualitativas e quantitativas das chuvas disponíveis na região. A proposta final deste estudo é efetuar o acompanhamento de 12 amostras coletadas durante os meses de 2017.

Quanto à qualidade da água, ela deve atender às exigências da norma brasileira - NBR 15527 de 2007, norma esta que define os requisitos para o aproveitamento de água da chuva coletada de coberturas em áreas urbanas para uso em fins não potáveis.

Para efetuar a análise qualitativa das amostras foi escolhido o laboratório de análises químicas da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - SABESP, unidade de São José dos Campos, devido à sua credibilidade e proximidade do local .

Quantitativamente, foram utilizados dados de séries históricas e sintéticas pluviométricas da região de São José dos Campos, disponibilizados pelo site do Centro de Previsão de Tempo e Extensão Climática do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -

CPTEC/INPE. Com base nestes dados, foi analisada a disponibilidade de chuvas na região e definidos os dados para o dimensionamento do sistema de coleta e armazenagem de água de chuva para o abastecimento do processo de lavagem de aeronaves.

1.5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Sabe-se que a escassez dos recursos hídricos é cada vez maior e, com a atual crise hídrica, torna-se cada vez mais necessário efetuar o gerenciamento da água na implantação de fontes alternativas do suprimento de água para o processo em questão, conforme Lee *et al.* (2016), Barbosa (2013), Romero (2012) e May (2009).

A disseminação de informações a respeito do risco de escassez de água fez com que aumentasse a conscientização da população em relação ao seu uso e à necessidade de buscar fontes alternativas de abastecimento. (MAY, 2004). Esta crescente preocupação com o meio ambiente, e o aumento da conscientização com relação ao emprego da água tratada em finalidades que não requer água tratada ou potável faz com que aumente o interesse em sistemas de aproveitamento de água de chuva. (SEEGER *et al.*, 2007).

Por meio do gerenciamento dos recursos hídricos, busca-se fontes alternativas de abastecimento de água, de acordo com a qualidade necessária para a sua aplicação, e também o uso racional de recursos como energia, de produtos químicos e tratamento da água. É muito grande ainda o emprego de água tratada para as mais diversas aplicações como lavagem de pisos, automóveis, descargas de toaletes, jardinagem. Estas aplicações não necessitam de água potável e podem ser abastecidas por uma fonte alternativa de água, como a água de chuva.

Devido à falta de uma política de gerenciamento de recursos hídricos atrelada a uma política de incentivo, divulgação e esclarecimento do uso de fontes alternativas de captação de água, ainda se perde muitos recursos tratando e bombeando a água para atender a finalidades que dispensam o uso de água potável.

A captação constante de águas subterrâneas faz com que abaxiem o nível destas águas, (RAHMAN *et al.*, 2014), dificultando a sua capacidade de recuperação e causando grandes impactos ao meio ambiente. Com a adoção de um sistema de captação de água de chuva como fonte alternativa de abastecimento ocorrerá a preservação do nível do lençol freático, contribuindo para a sua capacidade de recuperação.

Sabe-se que o residual gerado no processo de lavagem de aeronaves é de boa qualidade. Este efluente pode vir a ser aproveitado em outras aplicações e, com isso, além da

redução do consumo de água, haverá a redução do custo do tratamento de efluentes descartados.(ZANETI *et al.*, 2012). O processo de captação de água de chuva é o método mais simples de aproveitamento de água, conforme May (2004).

O presente trabalho analisa a viabilidade de investimento em um sistema de captação de água de chuva para o abastecimento do processo de lavagem de aeronaves, o que envolve a análise quantitativa da água de chuva disponível na região de São José dos Campos, e a análise qualitativa dessa água de acordo com as exigências da norma NBR 15527 de 2007, que define a necessidade de tratamento de água coletada.

Atualmente, assegurar o abastecimento de água é uma preocupação em todo o mundo, devido ao crescimento da demanda, da urbanização e do desenvolvimento industrial. A escassez de água está sendo agravada pela poluição da água causada pela urbanização e industrialização. (SIMEONOV *et al.*, 2003). A estimativa é a de que cerca de 2,6 bilhões de pessoas, ou seja, 30% da população mundial sofra com a escassez de água, que será mais concentrada nos países em desenvolvimento.

As Nações Unidas prevê que, em 2050, a população mundial atingirá 9,6 bilhões de pessoas e que 52% delas terão escassez de água. Isto devido à previsão de um aumento de 55% na demanda por água. Estes fatores motivam a adoção de fontes alternativas de abastecimento, além de ações de mitigação, como ações de gerenciamento do seu uso. A gestão da água em sistemas de coleta e aproveitamento de água de chuva tem recebido atenção especial, porque a sua implantação é de fácil viabilidade.

De um modo geral, define-se um sistema de coleta de água de chuva e o seu rendimento de acordo com os dados históricos de precipitação. (HAQUE *et al.*,2016). Sabe-se que o rendimento de um sistema de coleta de água de chuva pode vir a ser afetado com as mudanças climáticas resultantes do aquecimento global. Até mesmo países que possuem um bom equilíbrio hídrico, ou seja, têm a sua demanda de acordo com os recursos hídricos disponíveis, estão avaliando continuamente alternativas de abastecimento de água e políticas de redução do consumo, como a prevenção da escassez. O uso sustentável da água pode manter o equilíbrio entre a demanda e o abastecimento, sendo que a coleta de água de chuva é o método mais tradicional e sustentável que existe, podendo ser utilizado confiavelmente para fins não potáveis em residências e prédios comerciais, reduzindo assim a demanda por abastecimento de água tratada ou subterrânea, minimizando os impactos ambientais, economizando energia elétrica e diminuindo custos com tratamento de água.

Além da superexploração das águas subterrâneas, as mudanças climáticas têm contribuído para a redução e o esgotamento do lençol freático, alterando a sociedade e o meio

ambiente. A recarga dos aquíferos naturais ocorre por meio das chuvas, da água dos rios, da infiltração direta e da percolação durante as inundações. No entanto, a grande ocupação das superfícies com materiais de pavimentação ou outros materiais de construção, além de causar alagamentos, dificultam a recuperação dos aquíferos naturais, pois impactam a percolação. (RAHMAN *et al.*, 2014).

O aproveitamento de água de chuva é um processo simples, para o qual geralmente faz-se a coleta no telhado e o manuseio conforme a necessidade. O armazenamento da água da chuva viabiliza o seu uso para várias finalidades, inclusive a doméstica. Esta coleta também pode ser feita de vários telhados, coletada por tubulação e armazenada em um tanque, que pode ficar sobre a superfície ou enterrado .

A qualidade da água coletada pelo sistema de captação por meio das calhas de coberturas das edificações depende da qualidade do telhado, das condições ambientais do local de coleta, do clima e da poluição atmosférica. Os testes de qualidade devem ser aplicados para que indiquem a viabilidade de uso de água para a finalidade desejada.

Este trabalho consiste em avaliar os parâmetros de qualidade da água, os limites permissíveis, a quantidade de recurso hídrico disponível e as avaliações financeiras obtidas com a implantação deste processo. O histórico mostra que nem sempre a qualidade da água coletada permite que seja utilizada como água potável, mas essa água pode ser empregada em outras finalidades, se feito um tratamento mínimo como filtração e cloração, que amplia as suas aplicações.

O uso convencional de água impacta os recursos naturais. A coleta de água do solo e de fontes superficiais, o seu tratamento e a sua distribuição estão intimamente associados ao consumo de energia elétrica. A diminuição do uso de água convencional reduz a demanda de energia elétrica, que por sua vez, reduz a emissão de dióxido de carbono, conservando assim recursos hídricos e energéticos, contribuindo com a segurança e sustentabilidade dos recursos naturais.

A precipitação de água é a principal variável para um sistema de captação de água de chuva, e a variabilidade e temporalidade da precipitação é o fator determinante para o seu desempenho.

O projeto de captação de água de chuva consiste em determinar a dimensão adequada do reservatório para garantir o abastecimento de água para o uso previsto. Um tanque muito grande seria perda de recursos, um tanque subdimensionado não irá atender à demanda de água necessária. (NBR 15527,2007). Para garantir a viabilidade deste sistema, é necessário analisar vários parâmetros de qualidade e garantir que estejam dentro dos limites permissíveis.

No caso do uso de água de chuva coletada de superfície para finalidades não potáveis, esta deve estar de acordo com a NBR 15527 de 2007, que define os critérios para o seu uso.

O monitoramento da água de chuva coletada é de grande importância, devido ao seu potencial risco à saúde e devido à presença de contaminantes químicos e microbiológicos. Por isso, a avaliação da qualidade da água coletada é essencial antes da sua aplicação.

A água coletada da chuva não é apropriada para o consumo humano, mas o seu controle deve ser feito, pois há a possibilidade do usuário ter contato com ela, podendo haver qualquer tipo de contágio. Desta forma, parâmetros como coliformes, turbidez, pH e cloro residual devem ser constantemente analisados.

Os processos de tratamento, como a filtração e desinfecção, devem ser aplicados à água proveniente de captação pluvial. Para a desinfecção do sistema pode ser utilizado um derivado clorado, raios ultravioleta, ozônio, iodo, sais de prata e outros.

Entre todos os produtos desinfetantes utilizados o cloro é o mais empregado. O uso do cloro como desinfetante no tratamento de água foi introduzido no século XX como tratamento complementar à filtração. Sua introdução caracterizou uma revolução tecnológica no tratamento de água, devido ao seu sucesso caracterizado pelo baixo custo, fácil acessibilidade em quase todos os países, ação oxidante de materiais orgânicos e inorgânicos, efeito residual, ação germicida de amplo espectro e boa persistência nos sistemas de distribuição. E por apresentar boa propriedade residual pode ser facilmente medido, mesmo depois da água ter sido tratada e distribuída. Em resumo, o cloro consiste em um desinfetante econômico, eficaz, confiável e permanente (NBR 15527, 2007). Quando é utilizado cloro residual livre, o parâmetro necessita ser controlado e deve estar entre 0,5mg/ L e 3,0mg/ L, não havendo a necessidade de controle periódico da quantidade máxima de cloro residual livre no ponto de consumo, pois esta água não será utilizada para fins potáveis. Quando a água coletada é empregada para fins potáveis, há a necessidade do controle da quantidade de cloro residual livre em razão do teor máximo permitido para o consumo humano.

Devido ao seu alto poder oxidante, o cloro, além da desinfecção do sistema, efetua o controle de crescimento de algas, o controle de cor e de odor, a remoção de ferro e manganês. O uso do cloro permite, de maneira bastante simples, garantir a inocuidade da água desde a produção até o seu uso, desde pequenos sistemas até o abastecimento de grandes cidades. Entre os principais produtos à base de cloro utilizados para desinfecção de água podemos citar a cal clorada, o hipoclorito de sódio, o cloro gasoso e o hipoclorito cálcico.

A desinfecção consiste na etapa do tratamento da água de inativação dos micro-organismos do sistema e de prevenção de crescimento biológico. Nestes micro-organismos,

podem haver os patogênicos (bactérias, vírus, fungos, protozoários) que são os que causam doenças aos seres humanos e que são inativados nesta etapa. Em doenças veiculadas pela água e seus agentes, as diarreias são as mais comuns, conforme mostra a Tabela 2, e de acordo com a OMS - Organização Mundial de Saúde é a sétima causa de mortes no mundo e a principal causa de morbidade em seres humanos, com 4 milhões de casos por ano. Na Tabela 2 são apresentadas as principais doenças causadas pela água contaminada e seus agentes.

Tabela 2. Principais doenças causadas pela água contaminada e seus agentes

Doenças causadas por bactérias	Agentes patogênicos
Febre tifóide e paratifoide	<i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella paratyphi</i> A e B
Disenteria bacilar	<i>Shigella</i> sp
Cólera	<i>Vibrio Cholerae</i>
Gastrenterites agudas e diarreias	<i>Escherichia coli</i> enterotóxica <i>Campilobacter</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Salmonella</i> sp
Doenças causadas por vírus	Agentes patogênicos
Hepatite A e E	<i>Vírus da hepatite A e E</i>
Poliomielite	<i>Vírus da poliomielite</i>
Gastrenterites agudas e crônicas	<i>Rotavirus</i> <i>Enterovirus</i> <i>Adenovirus</i>
Disenteria amebiana	<i>Entamoeba histolytica</i>
Gastrenterites	<i>Giardia lamblia</i> <i>Cryptosporidium</i>

Fonte : FUNASA

1.6 DESCRIÇÃO DOS CAPÍTULOS

Esta dissertação é composta de cinco capítulos :

O capítulo 1 - Introdução, apresenta o objetivo, a motivação, justificativa, a contextualização do estudo, e a revisão bibliográfica.

O capítulo 2 - Condições e requisitos para aproveitamento da água de chuva no Brasil, apresenta um breve histórico brasileiro de aproveitamento de água de chuva. Aborda a NBR 15527 de 2007, norma que rege os requisitos para o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis e exigências das condições gerais, reservatórios, bombeamento, manutenção e métodos de dimensionamento.

O capítulo 3 - Parte experimental , descreve o local do estudo, onde foram coletadas as amostras e onde se pretende implantar o sistema de aproveitamento de água. Neste capítulo foi apresentado o método de coleta e análise das amostras de água de chuva; foram efetuadas as análises das séries históricas de precipitação da região de São José dos Campos, e calculado o volume de chuva disponível na região.

O dimensionamento do sistema de aproveitamento de água da chuva também foi feito no capítulo 3.

O capítulo 4 - Resultados e discussão, mostra a análise dos dados obtidos.

O capítulo 5 - Conclusão, apresenta as conclusões deste estudo e sugestões de trabalhos futuros.

2 CONDIÇÕES E REQUISITOS PARA O APROVETAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA NO BRASIL

2.1 BREVE HISTÓRICO DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA NO BRASIL

Até o final dos anos 70, existiam poucas experiências de captação de água de chuva no Brasil, sendo que esta situação começou a mudar com experiências feitas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA em cisternas para água pluvial, no semi-árido do nordeste brasileiro. No início dos anos 90, organizações não governamentais, organizações de base, comunidades e o Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada - IRPAA começaram a construir cisternas e identificaram necessidades de implementar programas educacionais estruturados para incentivar a convivência com o clima semi-árido e um melhor gerenciamento da água. Desde então, anualmente a Embrapa e o IRPAA organizam simpósios brasileiros de captação e aproveitamento de água de chuva, o que fez com que fosse dado impulso ao uso da água de chuva na região.

Estes simpósios focam que o planejamento e o uso dos sistemas de captação de água de chuva devem fazer parte de um plano integrado de gestão de recursos hídricos e de uso do solo, tomando como base o histórico da região.

Há ainda a necessidade de desenvolvimento de estudos quanto à integração da captação e do manejo de água de chuva em bacias hidrográficas; preservação e recuperação do meio ambiente por meio da tecnologia de manejo de água de chuva; avaliação de programas governamentais para sistemas de captação de água de chuva e saneamento rural, exceto para questões relacionadas à água potável.

2.2 REQUISITOS DA NBR 15527 DE 2007

Os requisitos para uso não potável da água captada da chuva das coberturas em áreas urbanas devem atender à norma NBR 15527 de 2007. Esta norma se aplica ao uso da água de chuva em finalidades não potáveis, sendo que esta pode ser utilizada, após tratamento adequado, em descargas de vasos sanitários; em jardinagem como na irrigação de gramados e plantas ornamentais; lavagem de veículos; limpeza de pavimentos, de calçadas e ruas; espelhos de água e fins industriais.

2.2.1 Concepção do sistema de aproveitamento de água de chuva.

A concepção do projeto do sistema de coleta de água de chuva deve atender à NBR 5626 de 1998 - Instalação predial de água fria e também a NBR 10844 de 1989 - Instalações prediais de águas pluviais. Não deve ser aplicado o uso de caixa de areia e, em substituição a esta, o uso de caixa de inspeção. No estudo deve constar o alcance do projeto, a finalidade de uso e a determinação da demanda. Incluem-se na concepção dos estudos, as séries históricas de precipitação da região, em que será feito o projeto de aproveitamento de água de chuva.

2.2.2 Calhas e tubulações

As calhas e tubulações horizontais devem atender à NBR 10844 de 1989, onde devem ser observados o período de retorno, a vazão de projeto e a intensidade pluviométrica. Devem ser instalados dispositivos de remoção de detritos, que podem ser constituídos por grades e telas de acordo com a NBR 12213 de 1992 - Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público. Deve ser instalado no sistema de aproveitamento de água de chuva um dispositivo para o descarte da água de escoamento inicial. É recomendável que este dispositivo seja automatizado e que este descarte seja de 2 mm da precipitação inicial.

2.2.3 Reservatórios

Os reservatórios da água obtida da chuva devem atender à NBR 12217 de 1994 - Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Deve ser considerado no projeto: extravasador, dispositivo de esgotamento, cobertura, inspeção, ventilação e segurança. O turbilhonamento deve ser minimizado, evitando a suspensão de sólidos e o arraste de materiais flutuantes. A retirada de água do reservatório deve ser feita próxima à superfície, e o recomendado é que seja feita a 15 cm desta.

O reservatório quando alimentado com água de outra fonte de suprimento de água potável, deve possuir dispositivos que impeçam a conexão cruzada.

O volume de água de chuva aproveitável, depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, bem como da eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial, sendo calculado conforme a equação (1).

$$V = P \times A \times C \times \eta \quad (1)$$

onde:

V o volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável; (em m³)

P a precipitação média (anual, mensal ou diária); (em mm)

A a área da coleta; (em m²)

C o coeficiente de escoamento superficial da cobertura;

η o fator de captação e indica a eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado.

O volume dos reservatórios deve ser dimensionado com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais, levando em conta as boas práticas de engenharia e utilizando os métodos descritos em anexo, ou outros, desde que devidamente justificados . Os reservatórios devem ser limpos e desinfetados com solução de hipoclorito de sódio, no mínimo, uma vez por ano, de acordo com a NBR 5626 de 1998 - Instalação predial de água fria.

O volume não aproveitado de água de chuva pode ser lançado na rede de galerias de águas pluviais, na via pública ou ser total ou parcialmente infiltrado, desde que não haja perigo de contaminação do lençol freático, a critério da autoridade local competente. O esgotamento pode ser feito por gravidade ou bombeamento. A água de chuva armazenada deve ser protegida contra a incidência direta de luz solar ou calor, bem como de contato de animais que possam vir a adentrar a tubulação de extravasação.

2.2.4 As instalações prediais da água da chuva

As instalações prediais devem atender à NBR 5626 de 1998 quanto às recomendações de separação atmosférica, materiais de construção das instalações, retrossifonagem, dispositivos de prevenção de refluxo, proteção contra interligação entre água potável e não potável, dimensionamento de tubulação, limpeza e desinfecção de reservatórios, controle de ruídos e vibrações. As tubulações e os demais componentes do sistema de aproveitamento de água de chuva devem ser claramente diferenciados do sistema de água potável. O sistema de distribuição de água de chuva deve ser independente do sistema de água potável, não permitindo a conexão cruzada de acordo com a NBR 5626 de 1998. Os pontos de consumo devem ter uso restrito e serem identificados com placa de advertência com a seguinte

inscrição: "água não potável", com identificação gráfica. Os reservatórios de água de distribuição de água potável e água de chuva devem ser separados.

2.2.5 Qualidade da água

Os padrões de qualidade devem ser definidos durante a elaboração do projeto. A Tabela 3 mostra a qualidade da água a ser aplicada em finalidades mais restritivas:

Tabela 3. Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes Totais	Semestral	Ausência em 100L
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100L
Cloro residual livre	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT uso menos restritivo; < 5,0 uT uso mais restritivo;
Cor aparente	Mensal	< 15 u H
pH	Mensal	$6 \leq \text{pH} \leq 8$ (tubulação de aço carbono ou galvanizado)

Fonte : NBR 15527 (2007)

O controle de cloro residual livre somente é feito quando ele é utilizado como desinfetante. Podem ser utilizados outros processos de desinfecção além do cloro, como o ultravioleta e o ozônio.

2.2.6 O Bombeamento da água

Quando necessário o bombeamento, este deve obedecer a NBR 12214 de 1992 - Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Devem ser observadas recomendações das tubulações de sucção e recalque, velocidades mínimas de sucção e seleção do conjunto de bomba e motor. O dosador automático de cloro pode ser instalado junto a bomba centrífuga, o qual convém ser enviado a um reservatório intermediário, de modo que haja um tempo de contato mínimo de 30 minutos.

2.2.7 A Manutenção do sistema

Deve ser realizada a manutenção em todo o sistema de aproveitamento de água de chuva, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4. Frequencia de manutenção e limpeza do sistema de aproveitamento de água.

Componente	Frequência de manutenção
Dispositivo de descarte de detritos	Inspeção mensal e Limpeza trimestral
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, tubulações verticais e horizontais	Semestral
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

Fonte : NBR 15527 (2007)

Quando existir a presença de produtos potencialmente nocivos à saúde humana na área de captação, o sistema deve ser desconectado, impedindo assim a entrada desses materiais no reservatório de água de chuva. A reconexão deve ser feita somente após a lavagem adequada, quando não houver mais riscos de contaminação pelos produtos utilizados.

2.2.8 Os métodos de cálculo para dimensionamento dos reservatórios da água proveniente da captação da chuva

Para cálculos do dimensionamento do reservatório da água de chuva, pode-se usar um dos métodos descritos a seguir:

- Método de Rippl

Neste método utiliza-se as séries históricas mensais ou diárias, usando as equações (2) e (3).

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad (2)$$

$$Q(t) = C \times P(t) \times A \quad (3)$$

$V = \Sigma S(t)$ somente para os valores $S(t) > 0$

Sendo que : $\Sigma D(t) < \Sigma Q(t)$

onde:

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

$D(t)$ demanda de água em função do tempo t ; (em m^3)

$Q(t)$ volume de chuva aproveitável em função do tempo t ; (em m^3)

V volume do reservatório; (em m^3)

C coeficiente de escoamento superficial ;

P precipitação mensal em mm;

- Método da Simulação

Neste método a evaporação da água não deve ser levada em conta. Aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito, para um determinado mês. Para este método, duas hipóteses devem ser feitas: o reservatório está cheio no início da contagem de tempo "t", e os dados históricos são representativos para as condições futuras, de acordo com a equação 4.

As equações (4) e (5) são utilizadas para o cálculo do volume de água no reservatório.

$$S(t) = Q(t) + S(t-1) - D(t) \quad (4)$$

$$Q(t) = C \times P(t) \times A \quad \text{Sendo que :}$$

$$0 \leq S(t) \leq V$$

onde :

$S(t)$ volume de água no reservatório no tempo (t);

$S(t-1)$ volume de água no reservatório no tempo (t-1);

$Q(t)$ volume de chuva aproveitável no tempo t;

$D(t)$ demanda de água no tempo t;

V volume do reservatório;

C coeficiente de escoamento superficial ;

- Método Azevedo Neto

O volume de chuva é obtido pela equação (5).

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (5)$$

onde:

P o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

T o valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca;

A o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);

V o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (L) ou m³.

- Método Prático Alemão

Trata se de um método empírico no qual se toma o menor valor do volume do reservatório: 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

V adotado = mínimo de (volume anual precipitado aproveitável e volume anual de consumo) x 0,06 (6%), conforme equação (6):

$$V \text{ adotado} = \min (V;D) \times 0,06 \quad (6)$$

onde:

V volume numérico do volume aproveitável de água de chuva anual, expresso em litros (L);

D valor numérico da demanda anual da água não potável, expresso em litros (L);

V adotado é o valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros (L);

- Método Prático Inglês

O volume de chuva é obtido pela equação (7).

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (7)$$

onde:

P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);

V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, expresso em litros (L) ou m³.

- O Método Prático Australiano

O volume de chuva é obtido pela seguinte equação (8).

$$Q = A \times C \times (P-I) \quad (8)$$

onde:

C o coeficiente de escoamento superficial (geralmente 0,8);

P a precipitação média mensal ; em mm.

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

A a área da coleta, (em m²);

Q o volume mensal produzido pela chuva, (em m³);

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório, conforme a equação (9).

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (9)$$

onde:

Q_t o volume mensal produzido pela chuva no mês t; (em m³).

V_t o volume de água que está no tanque no fim do mês t; (em m³).

V_{t-1} o volume de água que está no tanque no início do mês t; (em m³).

D_t a demanda mensal; (em m³).

NOTA: Para o primeiro mês considera-se o reservatório vazio.

Quando (V_{t-1} + Q_t - D) < 0, então o V_t = 0.

O volume do tanque escolhido será V_t

Confiança: $Pr = Nr/N$

onde:

Pr é a falha;

Nr o número de meses em que o reservatório não atendeu a demanda, isto é, quando $V_t = 0$;

N o número de meses, considerado geralmente 12 meses;

Confiança = $(1 - Pr)$.

Recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90 e 99%.

2.3 REQUISITOS MÍNIMOS PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA

Um sistema de captação de água da chuva tem como objetivo aproveitar a água da chuva coletada de uma superfície e armazená-la, de modo que ela possa ser utilizada como fonte alternativa de abastecimento, para finalidades que estejam de acordo com as características dessa água disponível. A superfície de captação geralmente corresponde ao telhado do local onde será feita a aplicação, ou próximo deste. A tubulação, a grade de retenção, o filtro e o tanque de armazenamento ou cisterna são os componentes básicos que um sistema de aproveitamento de água de chuva deve conter. A função da tubulação e das calhas é a de conduzir a água captada da superfície do telhado. A grade de retenção serve para impedir a passagem de materiais grandes como folhas e pedras. O filtro irá segregar material particulado de dimensões menores. A cisterna ou tanque irá armazenar a água coletada para que esta seja aproveitada futuramente. (TOMAZ, 2010).

2.3.1 Área de captação

Denomina-se área de captação a superfície do local onde será coletada a água da chuva. Normalmente, consiste em um telhado que pode ser inclinado ou até mesmo plano, de acordo com a NBR 10844 de 1989.

2.3.2 As tubulações

As tubulações são os dutos de água que irão percorrer o caminho desde onde a água for coletada até o reservatório. Os materiais podem ser de PVC, fibra de vidro, alumínio ou aço inoxidável.

- Tubulações Verticais

As tubulações verticais são aquelas fixadas paralelamente ao imóvel. Suas especificações devem seguir os requisitos da NBR 10844, conforme segue:

- 1) Quando houver necessidade de desvios, deve ser utilizada curva de 90°;
- 2) O diâmetro interno mínimo dos dutos verticais de secção circular é de 70 mm;
- 3) O dimensionamento dos dutos verticais deve ser feito a partir dos seguintes dados:

Q = Vazão de projeto, em L/ min;

H = Altura da lâmina de água na calha, em mm;

L = Comprimento do conduto vertical, em m.

Para se determinar o diâmetro (D) interno do condutor vertical, deve ser utilizado o ábaco da Figura 1. Traçar uma reta vertical com início na vazão (Q) até interceptar uma das curvas da altura de lâmina (H) e o comprimento do condutor vertical (L) correspondente. No caso de não haver curvas com os valores explícitos de H e L, interpolar entre as curvas existentes. Transportar a intersecção mais alta até o eixo D. Adotar o diâmetro nominal cujo diâmetro interno seja superior ou igual ao valor encontrado. Por exemplo, para uma calha com saída de aresta viva e altura de lâmina de 50 mm, vazão de 400 L/min e um condutor vertical de comprimento 0,3m têm-se um diâmetro de 80 mm para a tubulação vertical, conforme ilustrado na Figura 1.

- Tubulações Horizontais.

Tubulações horizontais, são os dutos que percorrem o caminho da água, paralelos ao chão. Devem também obedecer os requisitos da norma NBR 10844. As tubulações horizontais

devem ser projetadas, sempre que possível, com declividade uniforme e valor mínimo de 0,5%; O dimensionamento das tubulações horizontais de seção circular deve ser feito, para escoamento com lâmina de altura igual a 2/3 do diâmetro interno (D) da tubulação.

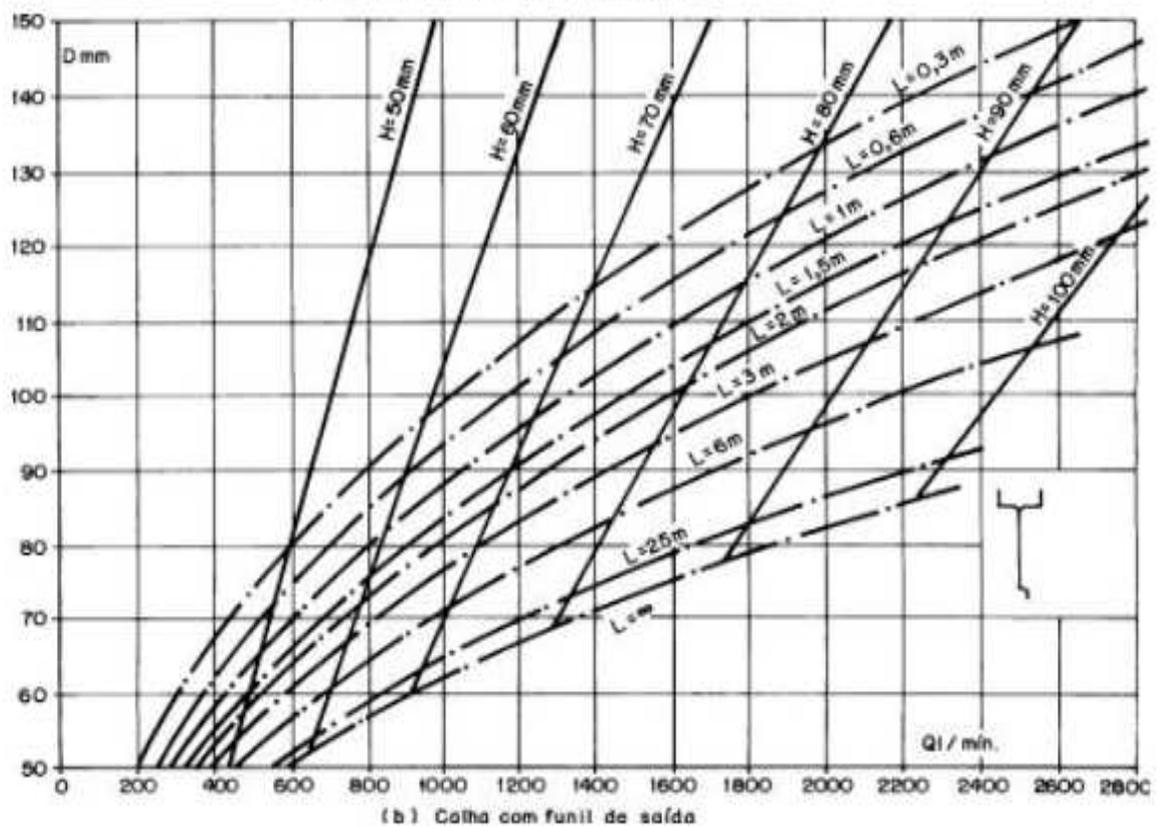
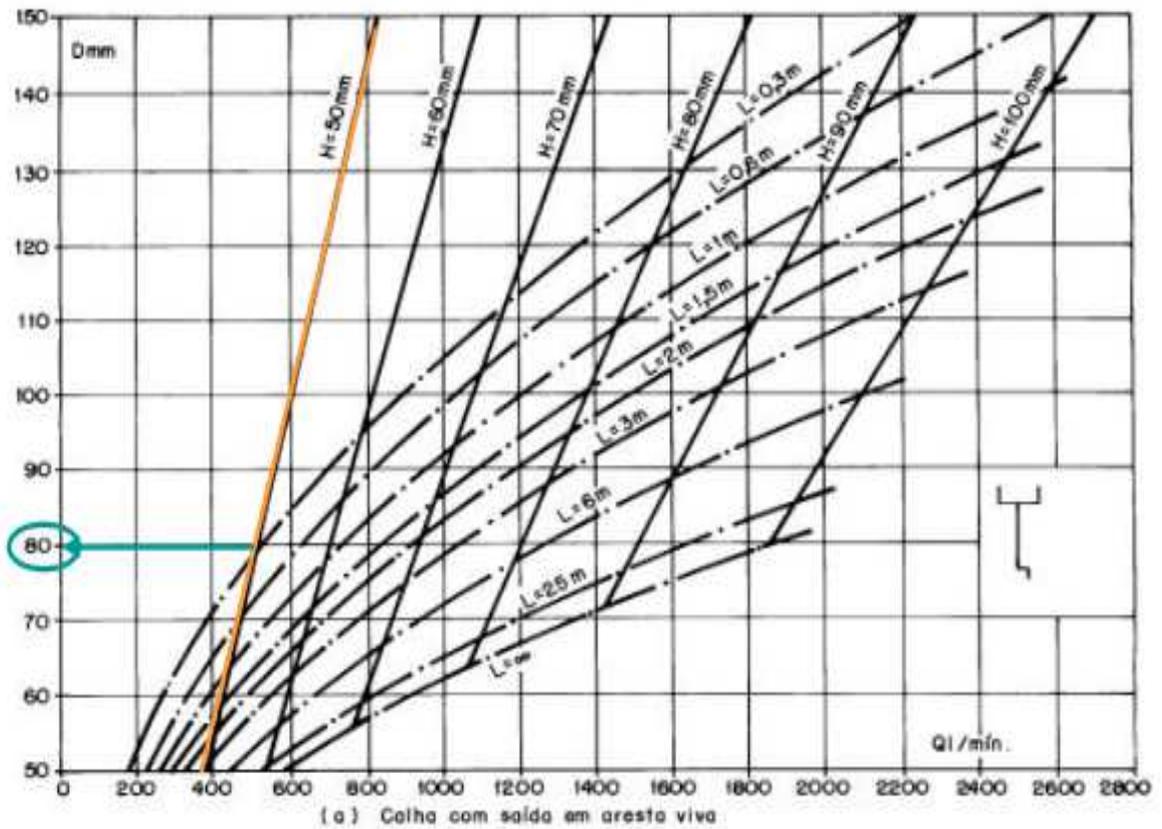
A Tabela 5 mostra as relações entre rugosidade (n), declividade, a vazão (Q) e o diâmetro a ser aderido para as tubulações horizontais.

Tabela 5. Dimensionamento das tubulações horizontais.

CAPACIDADE DOS CONDUTORES HORIZONTAIS DE SEÇÃO CIRCULAR (Q EM L/minutos)												
diâmetro interno	n = 0,011				n = 0,012				n = 0,013			
	mm	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%
50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
63	59	84	118	168	55	77	108	154	50	71	100	142
75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
125	370	521	735	1040	339	478	674	956	313	441	622	882
150	602	847	1190	1690	552	777	110	1550	509	717	1010	1430
200	1300	1820	2570	3650	1190	1670	2360	3350	1100	1540	2180	3040
250	2350	3310	4660	6620	2150	3030	4280	6070	1990	2800	3950	5600
300	3820	5380	7590	10800	3500	4930	6960	9870	3230	4550	6420	9110

Fonte: NBR 10844 (1989).

Figura 1 - Ábaco para definição do diâmetro das tubulações verticais.



Fonte: NBR 10844 (1984)

2.3.3 O Filtro de água de chuva

O filtro apresentado na Figura 2 serve para separar o material particulado sólido do líquido. Sua principal função consiste na remoção de impurezas como matéria orgânica e partículas de sujeira que poderiam permanecer na água.

Figura 2. Filtro autolimpante.



Fonte: www.supersustentavel.com.br.

2.3.4 O Dispositivo de *flush*

O dispositivo de "*flush*", consiste em um dispositivo de descarte do escoamento inicial. O objetivo é descartar a quantidade de água de chuva inicial coletada do telhado. Este procedimento deve ser adotado devido às impurezas provenientes do acúmulo de poeira, folha, dejetos de animais. De acordo com a finalidade que esta água venha a ser empregada, o *flush* pode ser dispensado do projeto. É sugerido que o volume descartado esteja entre 0,4L/m² a 8L/m² de telhado, sendo que o valor mais adotado é de 2L/m² de telhado. (TOMAZ, 2010).

2.3.5 O armazenamento da água pluvial

O armazenamento da água de chuva coletada pode ser feito em uma cisterna ou caixa de água que podem ser confeccionadas de PVC, fibra de vidro, alvenaria, ferro cimento ou concreto armado.

Para a determinação da capacidade de armazenamento da cisterna ou caixa d'água são necessários alguns parâmetros. Deve-se formar uma relação entre a demanda de água necessária, o volume de precipitação pluviométrica médio da região, a área de captação e o tempo de estiagem. As cisternas devem ser mantidas cobertas e devidamente cloradas para evitar que entrem impurezas e para impedir a proliferação de micro-organismos.

2.3.6 As exigências das instalações

Para que o sistema de aproveitamento de água das chuvas funcione corretamente e dentro das normas estabelecidas, é necessário :

- 1) Recolher e conduzir a vazão de projeto até os locais permitidos pelos dispositivos legais;
- 2) O sistema deve ser estanque;
- 3) O sistema deve ser de fácil acesso de modo que permita a limpeza e desobstrução de qualquer ponto no interior da tubulação;
- 4) Absorver os esforços provocados pelas variações térmicas que estará sendo submetido;
- 5) Quando passível de choque mecânico, deve ser construído em material resistente ao choque;
- 6) Nos componentes expostos, deve se utilizar materiais resistentes a intempéries;
- 7) Componentes em contato com outros materiais de construção, deve se verificar a compatibilidade;
- 8) Evitar excesso de ruído;
- 9) Resistir a pressões que podem estar sujeitas;
- 10) Fixar de forma a assegurar resistência e durabilidade do sistema.

3 PARTE EXPERIMENTAL

3.1 O LOCAL DOS EXPERIMENTOS

Os experimentos foram realizados na Empresa Brasileira de Aeronáutica - EMBRAER, em São José dos Campos, cidade do interior de São Paulo. As amostras da água de chuva foram coletadas da tubulação que capta a água das calhas do telhado do Centro de Entregas de Aeronaves, conforme mostra a Figura 3.

O processo de lavagem de aeronaves ocorre pouco tempo antes da data agendada para a entrega da aeronave ao cliente, ou seja, com 2 dias de antecedência e somente após finalizado o processo de montagem final e os voos de produção.

A Figura 3 mostra o prédio de entregas de aeronaves, local do experimento.

Figura 3. Prédio de entregas de aeronaves - frente do pátio.

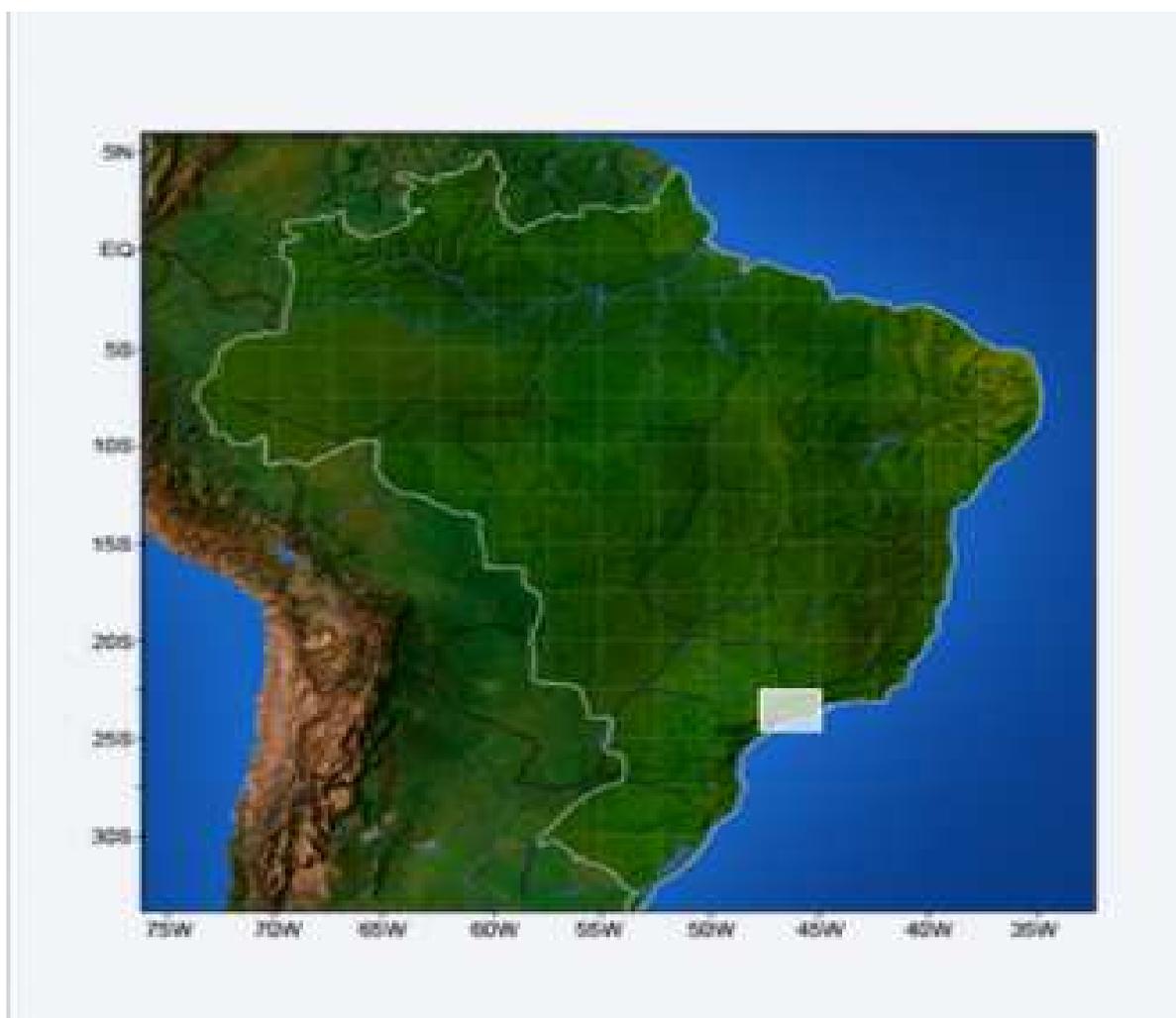


Fonte: Autora.

3.2 A PRECIPITAÇÃO DA CHUVA

O município de São José dos Campos está localizado na região Sudeste do Brasil (latitude 23,2°, longitude 45,8° e altitude de 646m), conforme mostra a Figura 4. Segundo o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI, o local apresenta classificação climática de *Köppen Aw*: tropical chuvoso com inverno seco e temperaturas médias variando entre 18,2°C em julho e 24,8°C em fevereiro. A região possui vários postos pluviométricos bem distribuídos, e os dados foram adquiridos do site do CPTEC/ INPE.

Figura 4. Localização de São José dos Campos.



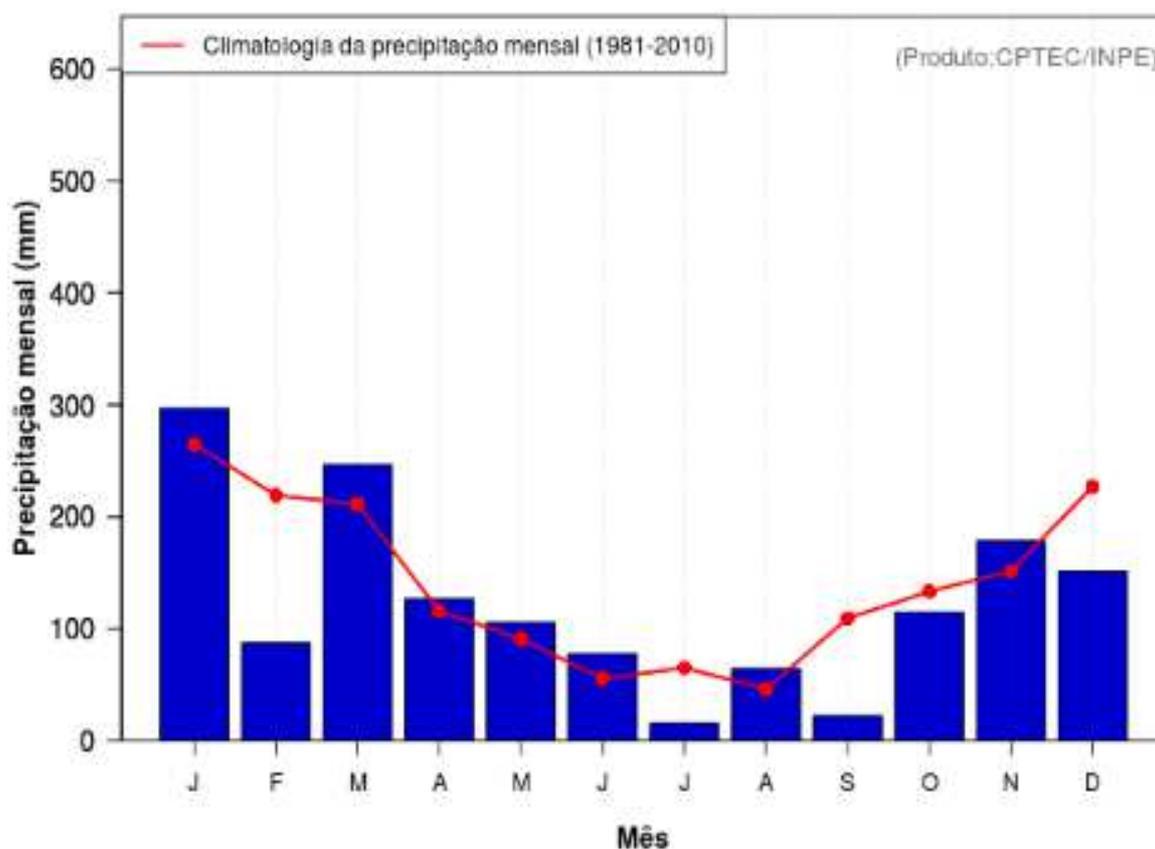
Fonte : CPTEC/INPE.

O gráfico na Figura 5 apresenta, em colunas azuis, a precipitação mensal da região de São José dos Campos no ano de 2017. O CPTEC/INPE utiliza como referência a série histórica da precipitação de 1989 a 2010, que corresponde à linha vermelha do gráfico na Figura 5.

Uma série histórica é construída através da média dos valores mensais compreendidos em um determinado período. Por exemplo, a série histórica da precipitação de 1981 a 2010 foi constituída pela média dos valores de cada mês de todos os anos compreendidos neste período.

Interpretando os valores do gráfico na Figura 5, foi possível verificar que, historicamente, nos meses de dezembro a março ocorreu maior precipitação e a partir de abril a tendência foi de reduzir. O período compreendido entre abril e agosto apresenta os menores índices de precipitações, portanto seriam meses críticos na captação de água de chuva mas, que podem ser compensados pelo armazenamento nas cisternas com a água captada da chuva nos meses de maior precipitação.

Figura 5. Precipitação mensal de 2017 x série histórica (1981 - 2010).



Fonte : CPTEC/INPE.

A Tabela 6 mostra os dados de 2017, que compõem o gráfico da Figura 5.

Tabela 6. Dados pluviométricos (mm) da região 114 - São José dos Campos - 2017

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Precipitação Acumulada
2017	300	85	250	130	105	80	20	70	30	100	180	150	1500
Série Histórica	270	230	220	120	90	50	60	50	110	135	140	230	1715

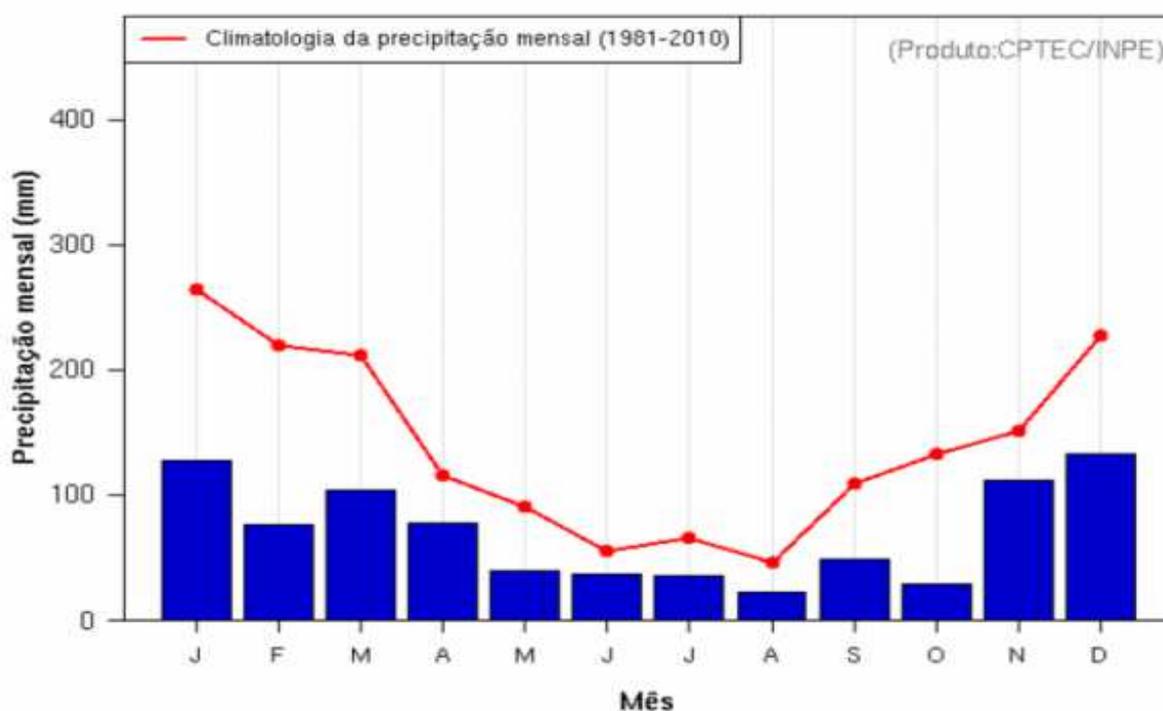
Fonte: Autora.

A fim de se conseguir uma referência mais atualizada do que a série histórica utilizada pelo site, foram obtidos os dados pluviométricos da região referente aos anos de 2014 a 2016, obtidos dos gráficos, das Figuras 6, 7 e 8.

Os gráficos, nas Figuras 6, 7 e 8 mostram, respectivamente, os dados da precipitação mensal de 2014, 2015 e 2016 comparados à série histórica de 1981 a 2010.

Analisando o gráfico na Figura 6, observou-se que a precipitação anual de 2014 foi muito baixa, quando comparada à média histórica. Em todos os meses do ano o valor da precipitação ficou abaixo dos valores históricos.

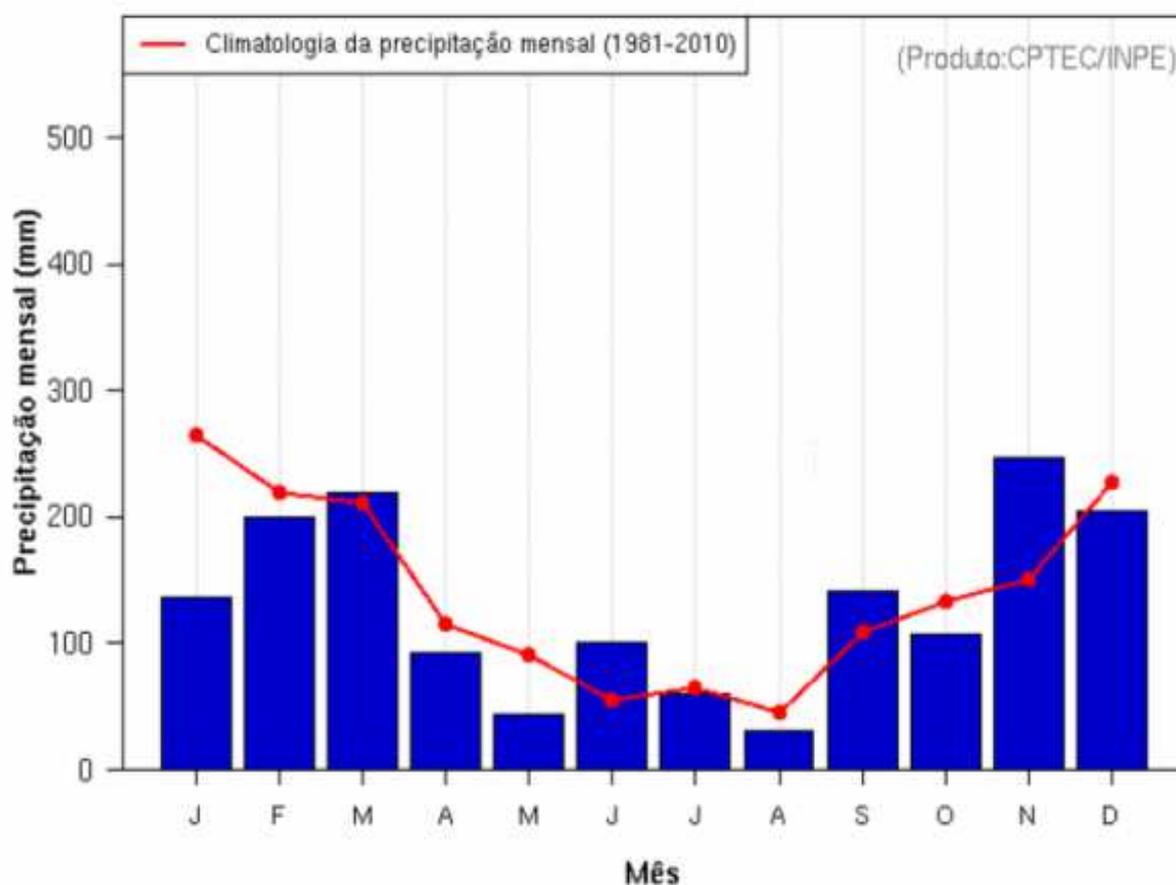
Figura 6. Precipitação mensal de 2014 x série histórica (1981 - 2010).



Fonte : CPTEC/INPE.

Interpretando o gráfico na Figura 7, foi possível concluir que a quantidade da precipitação anual também ficou abaixo da quantidade histórica. Somente nos meses de março, junho, setembro e novembro é que houve volume de chuva maior do que o histórico. Até mesmo nos meses de janeiro e dezembro, considerados de alta precipitação, ficaram abaixo do histórico.

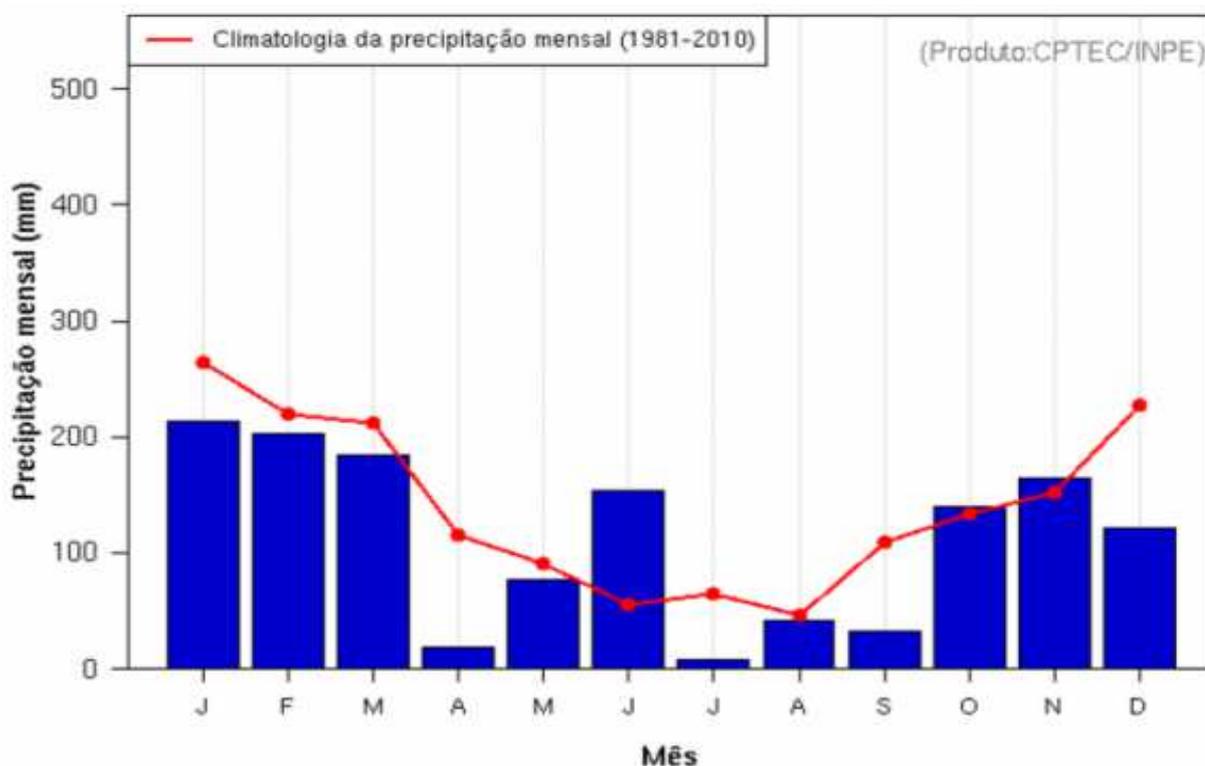
Figura 7. Precipitação mensal de 2015 x série histórica (1981 - 2010).



Fonte : CPTEC/INPE.

O gráfico na Figura 8 mostra um volume de chuva abaixo da média histórica, sendo que a menor quantidade de chuva ocorreu nos meses de abril, maio, junho e setembro. Os meses considerados de alta precipitação, de dezembro a março, também ficaram abaixo da média histórica.

Figura 8. Precipitação mensal de 2016 x série histórica (1981 - 2010).



Fonte : CPTEC/INPE.

A Tabela 7 apresenta os dados pluviométricos de 2014 a 2016 e mostra uma referência atualizada dos 3 últimos anos anteriores ao ano do estudo, construída a partir da média dos dados de precipitação dos meses destes anos.

Tabela 7 - Dados pluviométricos (mm) região 114 - São José dos Campos - 2014 a 2016.

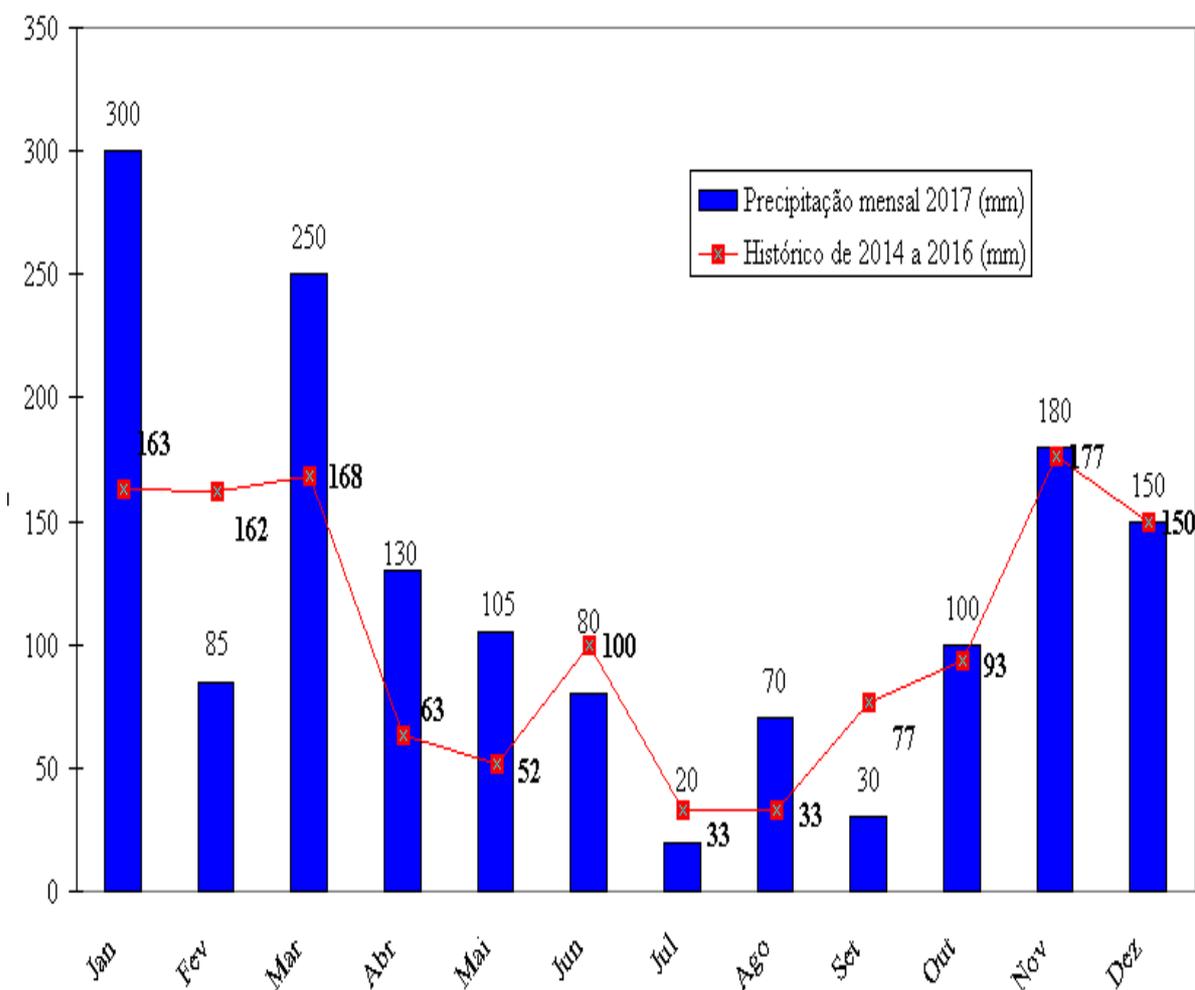
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Precipitação Acumulada
2014	130	80	110	80	45	40	40	20	50	30	115	130	870
2015	140	200	215	90	40	100	50	30	150	110	250	200	1575
2016	220	205	180	20	70	160	10	50	30	140	165	120	1370
Média	163	162	168	63	52	100	33	33	77	93	177	150	1272
Série Histórica	270	230	220	120	90	50	60	50	110	135	140	230	1715

Fonte: Autora.

No gráfico da Figura 9, é possível verificar os dados pluviométricos da região de São José dos Campos de 2017, já com a referência atualizada dos anos de 2014 a 2016.

É possível observar que houve aumento na precipitação de 2017 em relação aos valores de 2014 a 2016.

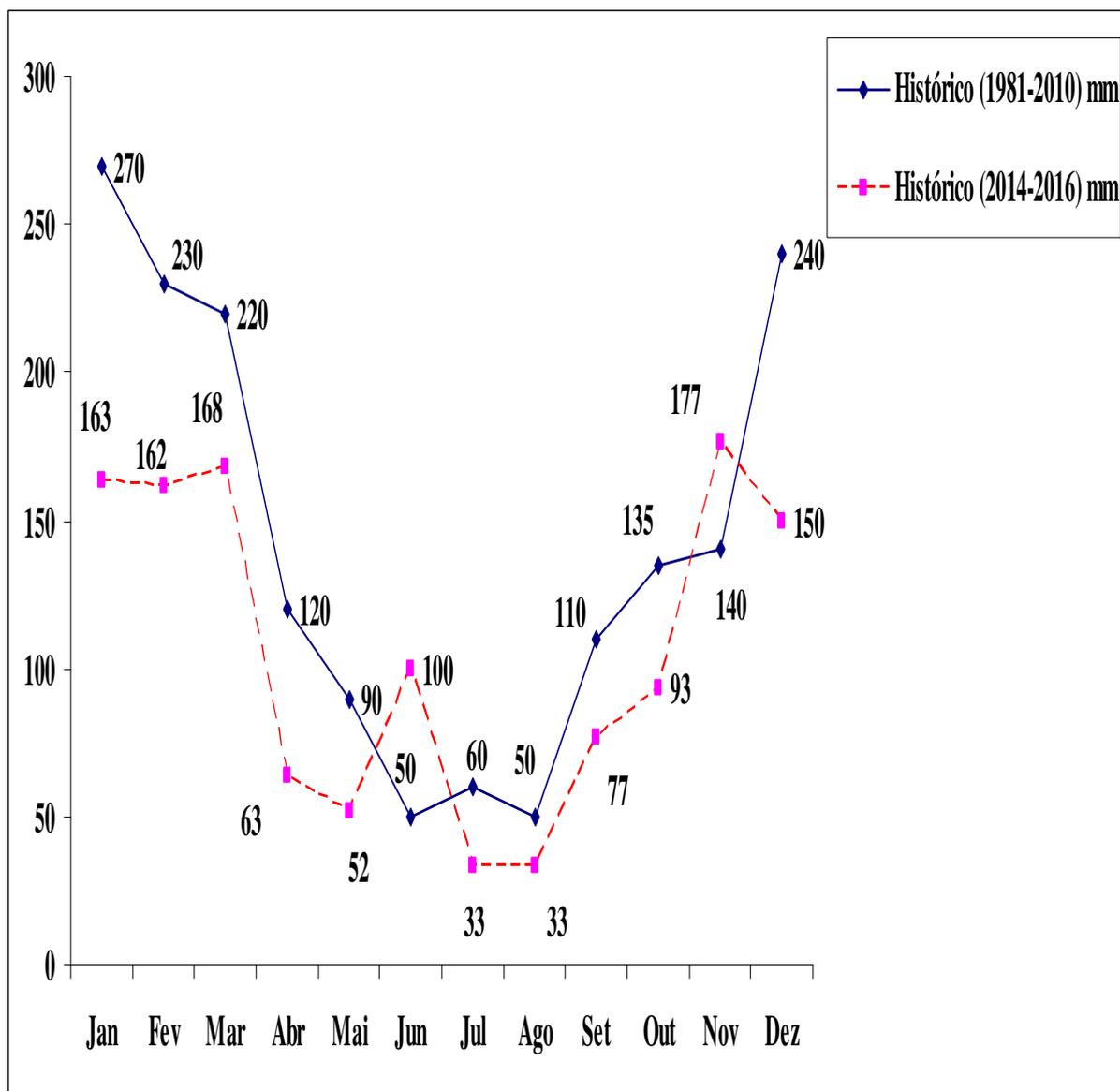
Figura 9. Precipitação mensal de 2017 x histórico da precipitação de 2014 a 2016.



Fonte: Autora.

No gráfico da Figura 10, foi feita uma comparação entre a série histórica de precipitação de 1981 a 2010 (linha cheia), e as precipitações de 2014 a 2016 (linha pontilhada). Através deste gráfico foi possível identificar que o volume de precipitação nos últimos anos diminuiu consideravelmente. Fato este que reforça a necessidade de gerenciamento do recurso hídrico e a necessidade de busca por fontes alternativas de abastecimento de água.

Figura 10. Comparativo série histórica (1989 - 2010) x precipitação de 2014 a 2016.



Fonte: Autora.

3.3 A DEMANDA

O volume médio da água de consumo na lavagem de um jato comercial é de aproximadamente 3.600 litros por aeronave. Estimando a produção de 100 aeronaves por ano, a necessidade anual de água para efetuar este processo é de 360 m³/ano.

Estes dados foram obtidos do processo de lavagem de aeronaves comerciais na EMBRAER, medidos no período de outubro de 2014 a dezembro de 2016 conforme Tabela 8, que apresenta o histórico da média de consumo mensal de água na lavagem das aeronaves.

Tabela 8 - Histórico do consumo de água na lavagem de aeronaves (m³).

	MÊS	MODELO	N/S	DATA	VALOR INICIAL	VALOR FINAL	CONSUMO LTS
1		170	433	30/10/2014	216.227	220.057	3.830
2	out/14	170	432	30/10/2014	216.615	221.855	5.240
3		170	431	31/10/2014	217.139	221.099	3.960
4		170	435	10/11/2014	217.739	220.659	2.920
5		190	679	13/11/2014	218.131	219.341	1.210
6		190	680	14/11/2014	218.252	220.632	2.380
7		190	681	18/11/2014	218.535	222.475	3.940
8	nov/14	170	440	19/11/2014	219.130	221.010	1.880
9		190	676	21/11/2014	219.348	221.658	2.310
10		170	441	24/11/2014	220.308	223.328	3.020
11		190	682	24/11/2014	219.778	225.078	5.300
12		170	442	27/11/2014	220.798	223.968	3.170
13		190	685	03/12/2014	222.167	227.487	5.320
14		190	686	09/12/2014	223.461	228.751	5.290
15	dez/14	170	444	10/12/2014	222.699	224.197	1.498
16		170	443	12/12/2014	224.220	227.820	3.600
17		190	675	18/12/2014	23.189	30.644	7.455
18		190	676	19/12/2014	31.644	33.165	1.521

Tabela 8 - Histórico do consumo de água na lavagem de aeronaves (m³). continua.

19	jan/15	170	446	16/01/2015	47.393	49.179	1.786
20		170	449	20/01/2015	52.984	55.492	2.508
21	fev/15	170	455	12/02/2015	78.413	81.179	2.766
22		170	454	20/02/2015	85.887	89.200	3.313
23		170	459	27/02/2015	92.229	95.569	3.340
24	mar/15	170	461	06/03/2015	104.318	107.675	3.357
25		170	460	07/03/2015	95.646	98.234	2.588
26		170	468	12/03/2015	111.203	113.433	2.230
27		170	471	10/04/2015	128.238	131.238	3.000
28	abr/15	170	470	10/04/2015	131.238	135.370	4.132
29		190	689	17/04/2015	142.278	145.562	3.284
30		190	688	17/04/2015	145.562	148.885	3.323
31	mai/15	175	474	07/05/2015	160.294	163.203	2.909
32		175	476	11/05/2015	164.191	167.350	3.159
33		175	477	12/05/2015	167.359	170.395	3.036
34		175	478	15/05/2015	170.666	174.410	3.744
35		190	675	19/05/2015	177.751	180.445	2.694
36		175	479	30/05/2015	195.818	198.557	2.739
37	jun/15	170	486	11/06/2015	201.823	204.326	2.503
38		190	676	16/06/2015	210.444	214.330	3.886
39		170	487	18/06/2015	207.238	210.118	2.880
40	jul/15	190	693	18/07/2015	231.966	235.966	4.000
41	ago/15	170	497	06/08/2015	251.294	254.372	3.078
42		170	500	14/08/2015	259.466	262.015	2.549
43		170	501	18/08/2015	262.441	266.137	3.696
44		170	499	19/08/2015	266.137	269.754	3.617
45		170	503	22/08/2015	273.909	277.874	3.965
46		170	502	22/08/2015	269.789	273.909	4.120
47	set/15	175	506	04/09/2015	280.269	282.886	2.617
48		175	507	09/09/2015	287.781	291.621	3.840
49		190	694	09/09/2015	282.886	287.781	4.895
50	out/15	170	510	06/10/2015	315.242	319.981	4.739
51		170	509	06/10/2015	304.373	309.820	5.447
52		170	514	06/10/2015	329.955	332.360	2.405
53		170	515	09/10/2015	345.667	349.919	4.252
54		170	512	09/10/2015	351.919	355.234	3.315
55		190	696	15/10/2015	322.907	325.995	3.088
56	nov/15	170	517	02/11/2015	364.689	368.283	3.594
57		190	697	02/11/2015	358.270	361.689	3.419
58		190	698	09/11/2015	371.109	375.332	4.223
59		170	518	11/11/2015	377.322	380.898	3.576
60		170	522	16/11/2015	382.105	385.577	3.472
61		170	520	26/11/2015	394.242	397.984	3.742
62		170	521	30/11/2015	1.630	6.220	4.590
63		dez/15	190	700	13/12/2015	403.062	407.396
64	170		447	25/12/2015	56.778	60.323	3.545

Tabela 8 - Histórico do consumo de água na lavagem de aeronaves (m³). conclusão.

65	fev/16	170	538	02/02/2016	423.982	426.888	2.906
66	mar/16	190	706	03/02/2016	489.771	493.696	3.925
67		170	575	11/04/2016	608.731	612.428	3.697
68	abr/16	170	554	16/04/2016	529.071	533.125	4.054
69		170	555	29/04/2016	531.420	537.345	5.925
70		175	552	04/05/2016	541.204	546.254	5.050
71		175	557	05/05/2016	546.314	551.236	4.922
72	mai/16	175	558	06/05/2016	553.666	557.017	3.351
73		175	561	16/05/2016	564.156	568.212	4.056
74		175	562	17/05/2016	571.184	575.657	4.473
75	jun/16	170	565	03/06/2016	578.179	582.357	4.178
76		170	566	21/06/2016	590.503	595.826	5.323
77		170	571	01/07/2016	600.498	604.767	4.269
78		170	572	05/07/2016	604.929	608.339	3.410
79	jul/16	170	576	12/07/2016	609.157	612.428	3.271
80		170	577	15/07/2016	617.713	621.322	3.609
81		170	579	28/07/2016	624.854	628.549	3.695
82		170	580	28/07/2016	628.591	632.713	4.122
83		190	710	10/08/2016	634.666	641.087	6.421
84		170	582	11/08/2016	644.920	648.814	3.894
85		190	718	12/08/2016	656.887	659.787	2.900
86	ago/16	170	583	12/08/2016	648.814	652.299	3.485
87		170	586	18/08/2016	658.836	662.020	3.184
88		170	585	18/08/2016	662.127	665.622	3.495
89		170	578	19/08/2016	665.622	669.565	3.943
90		190	717	24/08/2016	669.647	673.280	3.633
91		170	590	02/09/2016	683.061	687.949	4.888
92		170	592	09/09/2016	690.734	693.502	2.768
93	set/16	170	595	12/09/2016	696.502	699.966	3.464
94		170	594	13/09/2016	699.966	703.290	3.324
95		190	711	19/09/2016	709.329	716.776	7.447
96		170	606	07/10/2016	731.503	734.559	3.056
97		170	603	07/10/2016	737.623	741.997	4.374
98		170	604	13/10/2016	35.980	40.170	4.190
99		170	601	13/10/2016	743.225	747.815	4.590
100	out/16	170	597	14/10/2016	747.837	752.821	4.984
101		170	607	17/10/2016	753.889	757.197	3.308
102		170	608	17/10/2016	403.550	407.136	3.586
103		190	720	21/10/2016	760.527	764.613	4.086
104		190	714	24/10/2016	766.613	771.772	5.159
105		170	609	01/11/2016	773.964	777.988	4.024
106		170	611	04/11/2016	780.375	782.719	2.344
107		170	610	04/11/2016	778.031	782.047	4.016
108	nov/16	170	613	11/11/2016	785.780	788.682	2.902
109		170	612	11/11/2016	788.682	792.403	3.721
110		170	615	16/11/2016	793.358	796.459	3.101
111		170	616	25/11/2016	796.748	800.195	3.447
112		170	619	02/12/2016	802.015	805.442	3.427
113		170	620	02/12/2016	805.442	809.564	4.122
114		170	618	05/12/2016	809.564	814.233	4.669
115		170	621	07/12/2016	816.003	818.915	2.912
116	dez/16	170	623	08/12/2016	818.961	823.746	4.785
117		170	622	09/12/2016	823.746	827.551	3.805
118		170	624	13/12/2016	831.641	834.740	3.099
119		170	626	14/12/2016	835.108	838.390	3.282
120		170	625	15/12/2016	838.392	841.712	3.320

Fonte: Autora.

Na Tabela 8 é possível identificar que o mês de janeiro de 2016 foi atípico, ou seja, não houve lavagem de aeronaves devido ao fato de não ter ocorrido nenhuma entrega de aeronaves neste mês.

Algumas aeronaves apresentam um alto consumo de água durante a sua lavagem por terem ficado muito tempo estacionadas no pátio em preservação, ou seja, foi postergada a data de recebimento da aeronave pelo cliente, após a sua fabricação.

Aeronaves de pintura branca, quando preservadas, exigem uma grande quantidade de água para que a qualidade da limpeza fique satisfatória.

Algumas aeronaves não foram contabilizadas, pois sofreram processo de limpeza a seco, processo este que não tem relação com o universo de estudo deste trabalho. O processo de limpeza a seco de aeronaves demonstrou que na prática, apesar de apresentar um baixo consumo de água, há a necessidade de se empregar maior quantidade de mão de obra na sua execução e também ocorre o aumento do ciclo da atividade, elevando muito o custo e o tempo de execução da atividade.

Para se obter o grau de dispersão das amostras coletadas foi feito o cálculo do desvio padrão dos valores medidos referente ao consumo de água do processo de lavagem de aeronaves:

Para se calcular o desvio padrão de uma dada série de amostras, foi necessário seguir os seguintes passos:

- Cálculo da média

A média dos valores foi obtida através da somatória de todos os valores de cada conjunto de amostras dividida pela quantidade de amostras coletadas, conforme equação 10.

$$\bar{x} = \text{Média aritmética} = S / n \quad (10)$$

onde:

S = Soma de todas as amostras

n = Número de termos

Na Tabela 8, temos o total de 120 amostras. Considera se o conjunto de todas as amostras que foram coletadas em um mês.

É possível verificar a média de cada conjunto de amostras na coluna "média" da Tabela 9.

- Cálculo de variância

A variância indica a dispersão dos dados amostrados em relação à média. Para efetuar o cálculo da variância, subtraiu-se de cada valor, o valor da média.

Foi feita a soma dos quadrados perfeitos, para isso, elevou-se ao quadrado todos os valores encontrados e, então, foi feita a soma de todos os valores .

A variância corresponde à divisão da soma dos quadrados perfeitos por (n-1), onde N = número de amostras. Este processo foi efetuado

para cada conjunto de amostras. A equação 11 mostra o cálculo da variância.

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (11)$$

onde:

s = Variância

n = Número de amostras

\bar{x} = Média aritmética

xi = Valor de cada amostra

- Cálculo do desvio padrão

O desvio padrão indica o grau de uniformidade dos valores. Quanto mais próximo de zero, estes valores terão maior tendência a serem uniformes. O desvio padrão consiste na raiz quadrada da variância, conforme equação (12).

$$\delta = \sqrt{s} \quad (12)$$

onde:

δ = Desvio padrão

s = variância

A Tabela 9 mostra o cálculo da média e do desvio padrão obtido a partir dos dados das coletas, apresentados na Tabela 8:

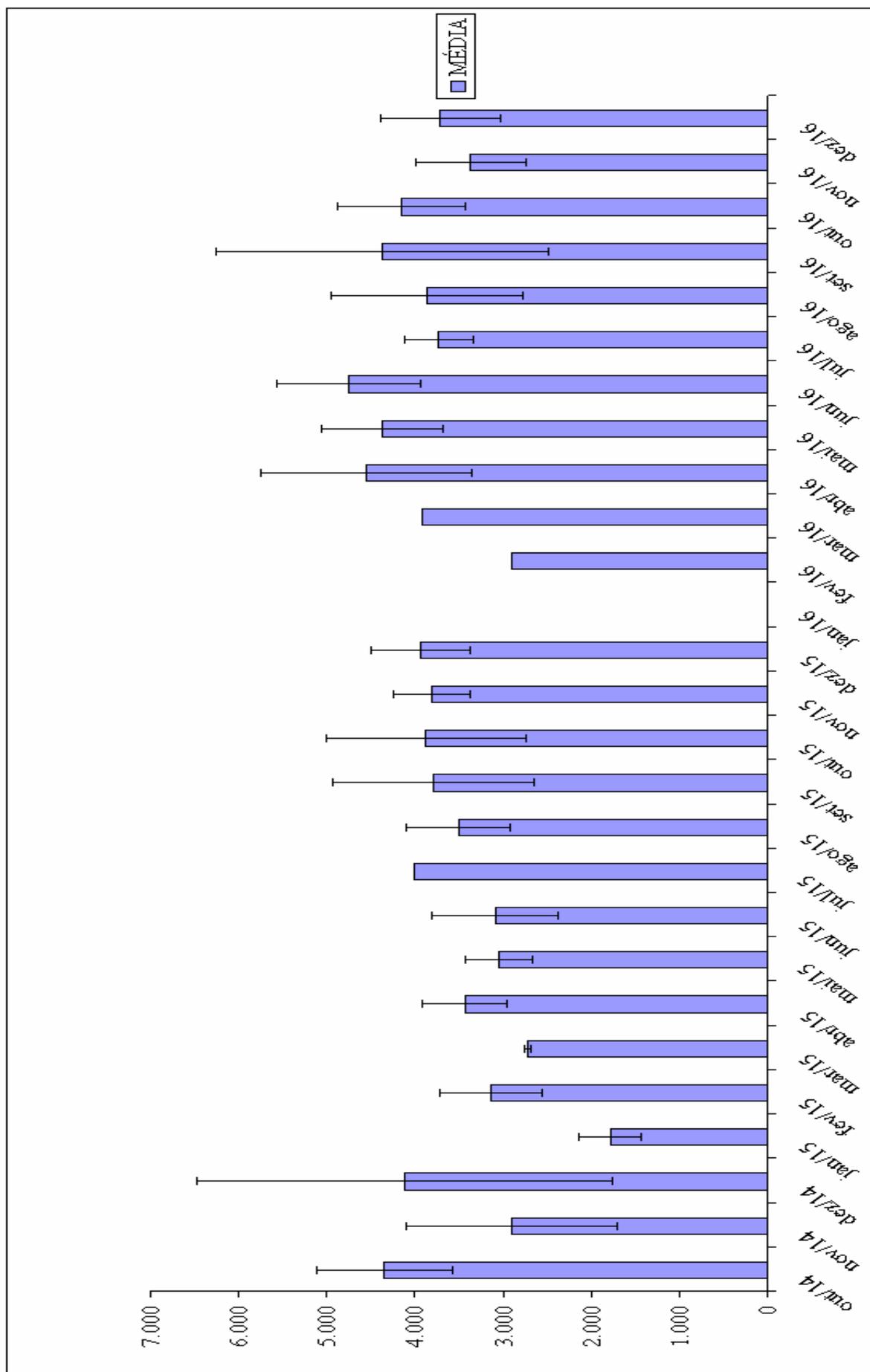
Tabela 9 - Histórico do consumo de água na lavagem de aeronaves (m³). Média e desvio padrão.

Mês	Média ± DP	
Outubro/2014	4343 ±	779
Novembro /2014	2903 ±	1196
Dezembro/2014	4114 ±	2359
Janeiro/2015	2147 ±	511
Fevereiro/2015	3140 ±	576
Março/2015	2725 ±	37
Abril/2015	3435 ±	487
Maió/2015	3047 ±	384
Junho/2015	3090 ±	715
Julho/2015	4000 ±	0
Agosto/2015	3504 ±	589
Setembro/2015	3784 ±	1140
Outubro/2015	3874 ±	1136
Novembro /2015	3802 ±	438
Dezembro/2015	3940 ±	558
Janeiro/2016	-	-
Fevereiro/2016	2906 ±	0
Março/2016	3925 ±	0
Abril/2016	4559 ±	1197
Maió/2016	4370 ±	692
Junho/2016	4751 ±	810
Julho/2016	3729 ±	393
Agosto/2016	3869 ±	1087
Setembro/2016	4378 ±	1885
Outubro/2016	4148 ±	723
Novembro /2016	3365 ±	622
Dezembro/2016	3713 ±	678
Média	3675	

Fonte: Autora.

O gráfico da Figura 11 representa a média e o desvio padrão dos valores do histórico do consumo de água no processo de lavagem de aeronaves.

Figura 11 - Gráfico do histórico do consumo de água no processo de lavagem de aeronaves, média ($M^3 \pm DP$).



A variação do desvio padrão se deve ao fato de não haver uma homogeneidade nos valores de consumo de água na lavagem de aeronaves. Vários fatores contribuem para essa variação, por exemplo, a preservação da aeronave, o tempo de duração dessa preservação e até mesmo a cor da sua pintura, pois aeronaves brancas preservadas por longos períodos no pátio tendem a ter maior adesão de sujeira, dificultando o processo de lavagem. Quando o desvio padrão é muito baixo ou zero, atribui-se aos meses em que houve somente uma aeronave entregue.

A Tabela 10 apresenta o modelo de planilha que foi utilizada para a coleta de dados, antes e após o início da lavagem de cada aeronave do período de coleta. Os valores iniciais e finais do hidrômetro eram anotados pelo operador, antes e após o início da operação de lavagem de aeronaves. Para que não houvesse falha ou esquecimento em iniciar a atividade sem anotar os dados, foram incluídas operações no roteiro da atividade de lavagem da aeronave para que fosse efetuada a medição inicial e final.

Tabela 10. Planilha modelo utilizada para controle do volume de água consumida na lavagem de aeronaves.

Aeronaves 190/195									
	MODELO	N/S	DATA	VALOR INICIAL	VALOR FINAL	CONSUMO	NOME	CHAPA	OBSERVAÇÃO
1	190	721							
2	190	722							
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									

Fonte: Autora

3.4 A MONTAGEM DOS EXPERIMENTOS

Na realização deste estudo, foi definido o laboratório de análises químicas da empresa SABESP para efetuar a análise das amostras coletadas. Isto devido à sua confiabilidade e proximidade ao local do estudo e por estar na cidade de São José dos Campos.

O estudo consistiu em 12 amostras coletadas mensalmente ao longo de 2017. As amostras foram coletadas da tubulação vertical que conduz a água do telhado do prédio de entregas de aeronaves, representado na Figura 13.

A coleta iniciou-se em janeiro de 2017 e fez-se em kits esterilizados, fornecidos pela SABESP. O kit é composto por 4 vasilhames esterilizados e 1 caixa térmica de acondicionamento, conforme mostra a Figura 12.

Figura 12. Kit de coleta de amostras SABESP.



Fonte: Autora.

Para efetuar a coleta, é necessário um volume de chuva satisfatório, pois, quando o volume é insuficiente, maior é a probabilidade de ter contaminantes na amostra. Cada coleta é feita diretamente da tubulação vertical de interligação com a calha horizontal de captação da água do telhado do prédio da Figura 14. A tubulação lateral é mostrada na Figura 13. Imediatamente após a coleta, as amostras foram acondicionadas na caixa térmica e enviadas para análise na SABESP. O prazo máximo de recebimento do laudo é de 20 dias úteis.

Figura 13. Tubulações de captação de água de chuva.



Fonte: Autora.

Figura 14. Prédio de Entregas de Aeronaves - foto aérea.



Fonte: Autora.

A Tabela 11 apresenta os dados de acompanhamento das amostras coletadas até outubro de 2017. Nos meses de fevereiro, março, junho, julho e setembro não houve quantidade de chuva suficiente na região para efetuar as coletas de amostras.

Tabela 11. Dados de análise das amostras de água.

Mês	Ensaio	Coliformes Totais (NMP/100 ml)	Cor Aparente (UC)	Escherichia Coli (NMP/100 ml)	Turbidez (NTU)	pH
Janeiro	RVOC 3156/17-0168-A	>2419,6	10	146,7	1,4	6,8
Fevereiro	N/A					
Março	N/A					
Abril	RVOC 6391/17-0168-A	>2419,6	12,5	23,5	13,4	6,1
Maio	RVOC 15567/17-0168-A	>2419,6	5,0	5,2	3,6	6,0
Junho	N/A					
Julho	N/A					
Agosto	RVOC 26228/17-0168-A	>2419,6	≤5,0	1413,6	2,3	6,6
Setembro	N/A					
Outubro	RVOC 35031/17-0168-A	2419,6	≤5,0	461,1	1,4	7,0
Novembro	RVOC 38722/17-0168-A	2419,6	10	2	1,5	6,9
Dezembro	RVOC 38921/17-0168-A	2419,6	5,00	154	1,4	6,8

Fonte: Autora.

N/A = Não analisado.

3.5 O MÉTODO DE CÁLCULO

O método mais utilizado para efetuar o dimensionamento de reservatório de água de chuva é o Método de Rippl, também denominado analítico. Neste método, utiliza-se as séries históricas mensais ou diárias.

Segue as informações necessárias para o preenchimento da Tabela 12 e a realização dos cálculos:

- Coluna 1: Meses do ano considerados. No estudo, deve-se considerar os meses de janeiro a dezembro, pois a necessidade é anual.
- Coluna 2: Valores médios mensais de chuva em milímetros da região em que a coleta será efetuada. Para maior confiabilidade na demanda de chuva, pode-se construir séries históricas pluviométricas sintéticas. Conforme mencionado anteriormente, foram utilizados dados pluviométricos do site CPTEC/INPE, e neste caso, utiliza-se a série histórica mais recente dos anos de 2014 a 2016, conforme o gráfico 6.
- Coluna 3: Demanda mensal de água de chuva, de acordo com o calculado para a edificação. Nesse estudo, o histórico de consumo de água de lavagem de aeronaves medido foi de $3,6\text{m}^3$ por aeronave. Com base neste valor foi possível definir os valores abaixo:

Cadência de produção anual = 100 aeronaves;

Volume anual = $3,6 \times 100 = 360 \text{ m}^3/\text{ano}$;

Volume mensal = $360/12 = 30 \text{ m}^3/\text{mês}$.

- Coluna 4: Área de captação da chuva. Corresponde à área do telhado do prédio de entregas de aeronaves. Na Figura 14, pode-se observar a foto aérea do prédio. O prédio de entregas de aeronaves está identificado, na Figura 14, pela área (A), com telhado plano e retangular de medidas de 134 m por 51,7 m. A bacia de contenção, local onde é executada a lavagem das aeronaves, está identificada como área (B), na Figura 14. A tubulação que concentra a água captada da calha do telhado consiste em 2 dutos verticais instalados em cada lateral do hangar, totalizando 4 unidades. Os dutos estão representados pelos 4 pontos verdes, na Figura 14, e o diâmetro de cada duto é de 0,88 m. Devido à proximidade com o local de lavagem de aeronaves, a proposta é de obter a captação da água de chuva somente da lateral mais próxima à bacia de contenção. Por

isso, deve-se considerar somente metade da área da superfície do telhado para o cálculo da área de captação de água.

$$A = 51,7 \times 134 = 6928 \text{ m}^2$$

$$\text{Área considerada: } 3464 \text{ m}^2$$

- Coluna 5: Volumes mensais resultantes da água da chuva, valores estes que correspondem ao produto da pluviometria mensal pela área de captação do telhado, aplicado o coeficiente de Runoff.
- Coluna 6: Diferença entre o volume de consumo e o volume de chuva mensal. Quando o valor for negativo: indica que a quantidade de chuva mensal supera a quantidade necessária. Quando o valor for positivo: indica que o consumo é superior ao valor captado e, neste caso, necessita de uma fonte de abastecimento complementar.
- Coluna 7: (E) = água extravasando; (D) = reduzindo o nível do reservatório de água; (S) = aumentando o nível do reservatório.

-

A Tabela 12 apresenta os dados do projeto para o cálculo da quantidade de água pluvial disponível, pelo método Rippl.

O preenchimento da Tabela 12, foi feito no início do estudo, utilizando-se os dados da precipitação média mensal de 2014 a 2016. Esta análise nos deu a garantia de que a quantidade de água de chuva disponível na região é suficiente para que este trabalho pudesse ser continuado, ou seja, ao final das 12 medições mensais ao longo de 2017, teríamos a comprovação que o aproveitamento de água de chuva é uma fonte de abastecimento alternativa viável para suprir o processo de lavagem de aeronave.

Tabela 12. Cálculo da quantidade de água pluvial disponível na região, precipitação de 2014 a 2016.

Coeficiente de runoff (CR)						
0,8						
Meses	Precipitação mensal	Demanda mensal	Área de captação	Vchuva mensal	Diferença entre o Vdemanda - Vchuva	Situação do reservatório
	(mm)	(m ³)	(m ²)	(m ³)	(m ³)	
Janeiro	163	30	3464	452	422	E
Fevereiro	162	30	3464	449	419	E
Março	168	30	3464	466	436	E
Abril	63	30	3464	175	145	E
Mai	52	30	3464	144	114	E
Junho	100	30	3464	277	247	E
Julho	33	30	3464	91	61	E
Agosto	33	30	3464	91	61	E
Setembro	77	30	3464	213	183	E
Outubro	93	30	3464	258	228	E
Novembro	177	30	3464	491	461	E
Dezembro	150	30	3464	416	386	E
Total	1271	360				

Fonte: Autora

As Figuras 15 e 16 representam, em vistas diferentes, o local proposto para implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva para a lavagem de aeronaves.

A Figura 15 mostra o prédio de entregas de aeronaves para o qual foi feita a proposta de captação de água de chuva, a partir da área do telhado. Este prédio já possui calhas horizontais de captação de água e tubulação vertical lateral. A bacia de contenção, local de lavagem das aeronaves, encontra-se no pátio em frente ao prédio e está representada na imagem pela área demarcada em amarelo. A bacia de contenção tem a função de contenção dos líquidos que são captados pelas calhas, que aparecem demarcadas em vermelho.

Figura 15. Local proposto para implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva.



Fonte: Autora.

A Figura 16 mostra o sistema proposto para o aproveitamento de água de chuva.

Para a implantação do sistema é necessário efetuar o desvio de 90° em uma das tubulações verticais já existentes e instalar um filtro simples para reter as folhas e partículas grandes. Além disto, é necessária a instalação de um *flush*, o qual consiste em um container que tem como função recolher a água de escoamento inicial do telhado e que depois será desprezada. Neste volume de água inicial concentra-se a maior quantidade de sujidades.

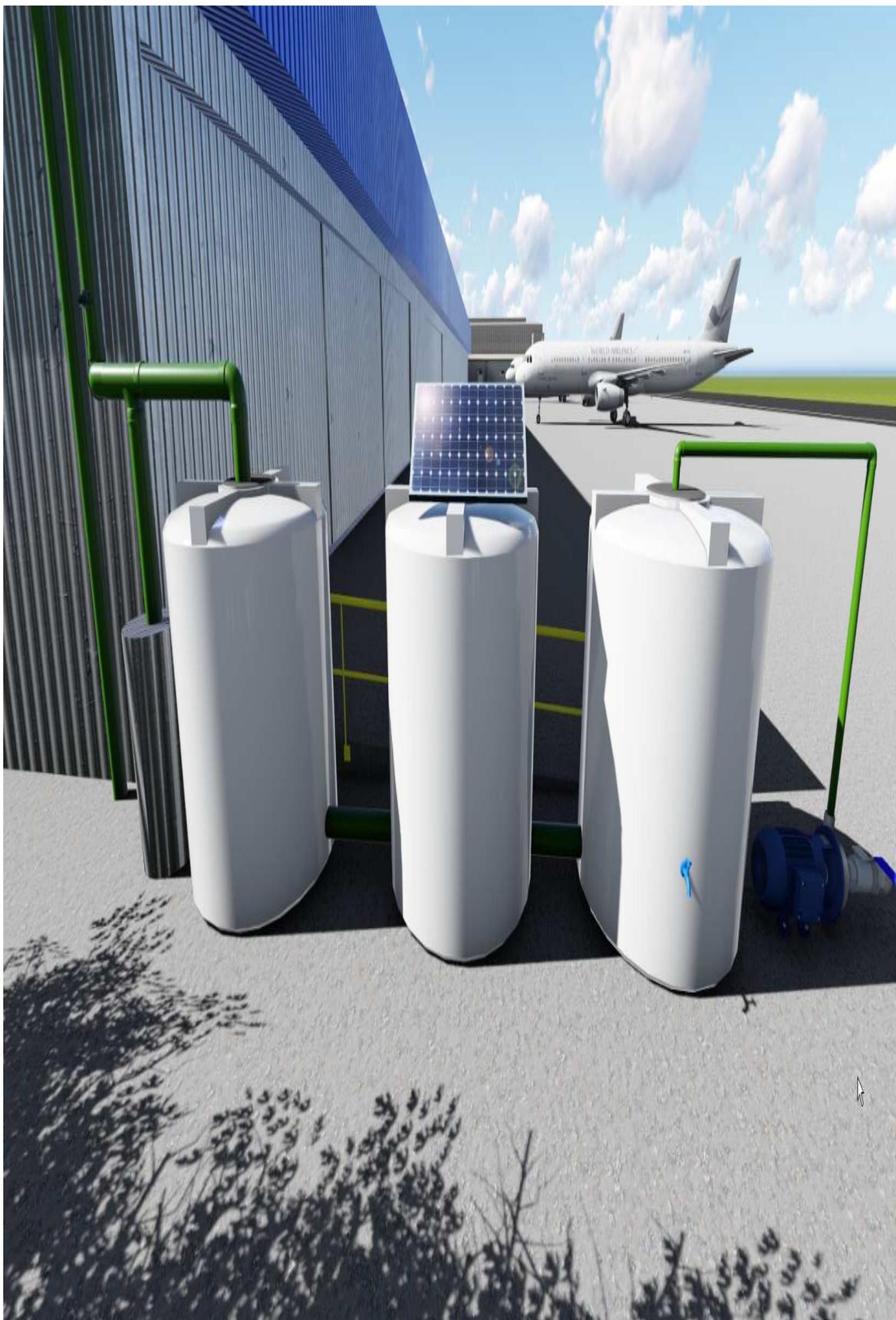
Para uma melhor otimização do espaço disponível, foi proposto que o armazenamento da água coletada da chuva fosse distribuído em 3 cisternas de 10m³ cada, interligadas em série na sua base.

Para garantir uma pressão adequada da água que será utilizada na lavagem das aeronaves, de modo que alcance as suas partes mais altas, sugere-se ainda a implantação de uma bomba solar, ou seja, esta bomba funciona através da energia captada da luz do sol por meio de uma placa fotovoltaica, reduzindo-se assim o gasto de energia deste processo.

Faz parte deste estudo a proposta de reaproveitar o efluente resultante da lavagem de aeronaves, que após filtração do mesmo poderá ser utilizado para lavagem de pátios, jardinagem e até mesmo lavagem de outras aeronaves.

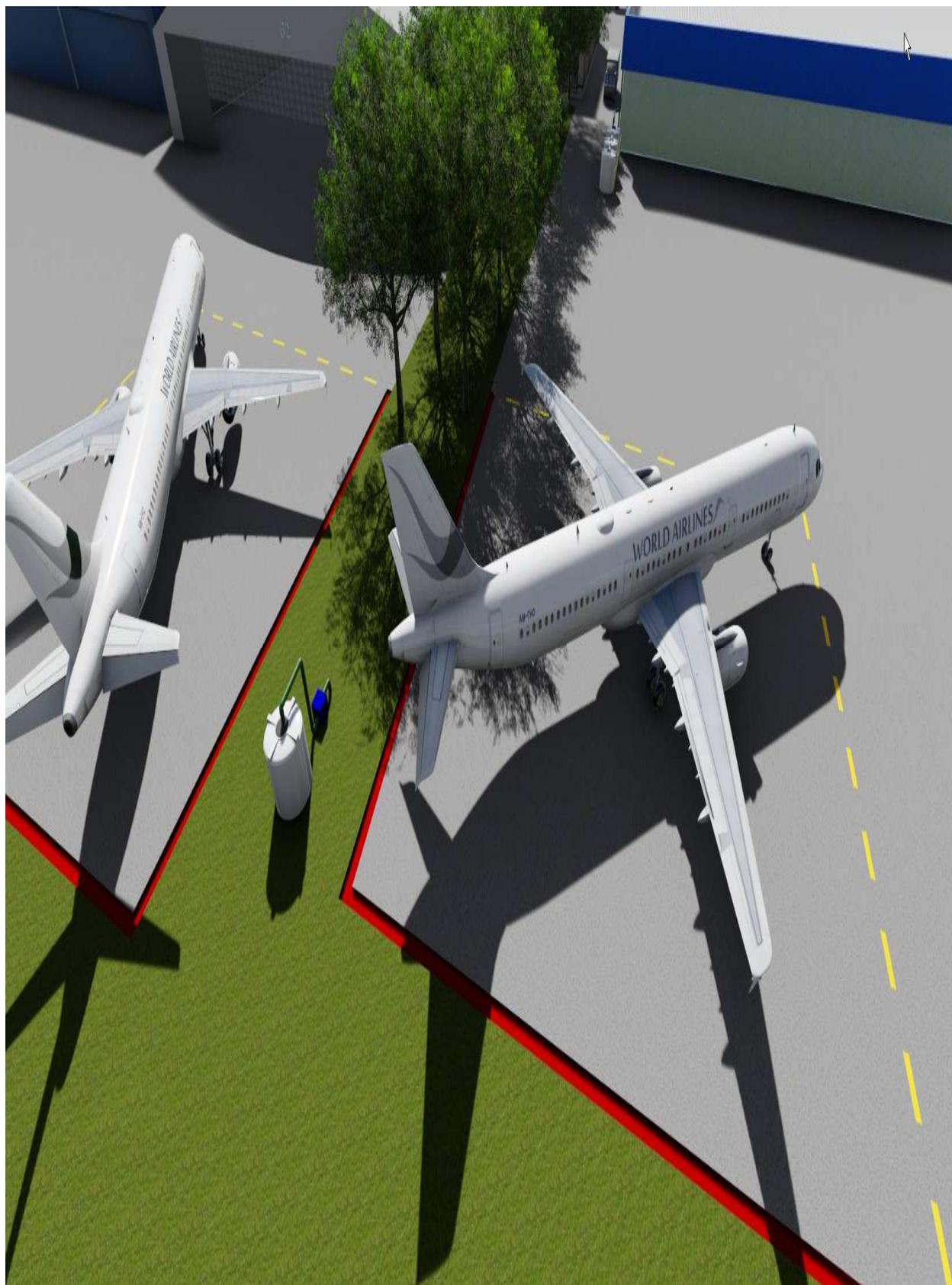
Para isso, será necessária a instalação de um filtro de grade logo após a saída da tubulação que capta a água da calha, interligado a uma cisterna de 10 m³, conforme indica a Figura 17.

Figura 16. Sistema de aproveitamento de água de chuva.



Fonte: Autora.

Figura 17. Sistema de reaproveitamento do efluente da lavagem de aeronaves.



Fonte: Autora.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, foram analisados os dados estudados no capítulo 3, que são de grande importância para justificar a viabilidade de implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva para a lavagem de aeronaves.

Conforme já mencionado anteriormente, há 3 fatores fundamentais neste estudo que necessitam ser analisados :

1. Análise dos dados de precipitação do local;

Para a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva, os valores de precipitação são fundamentais para a determinação de viabilidade do sistema.

2. Qualidade da água de chuva;

Deve-se analisar a qualidade da água aproveitada, pois caso esta apresente baixa qualidade, o tratamento para adequação da água a fim de atender à necessidade de aplicação pode encarecer muito o processo, tornando-o inviável.

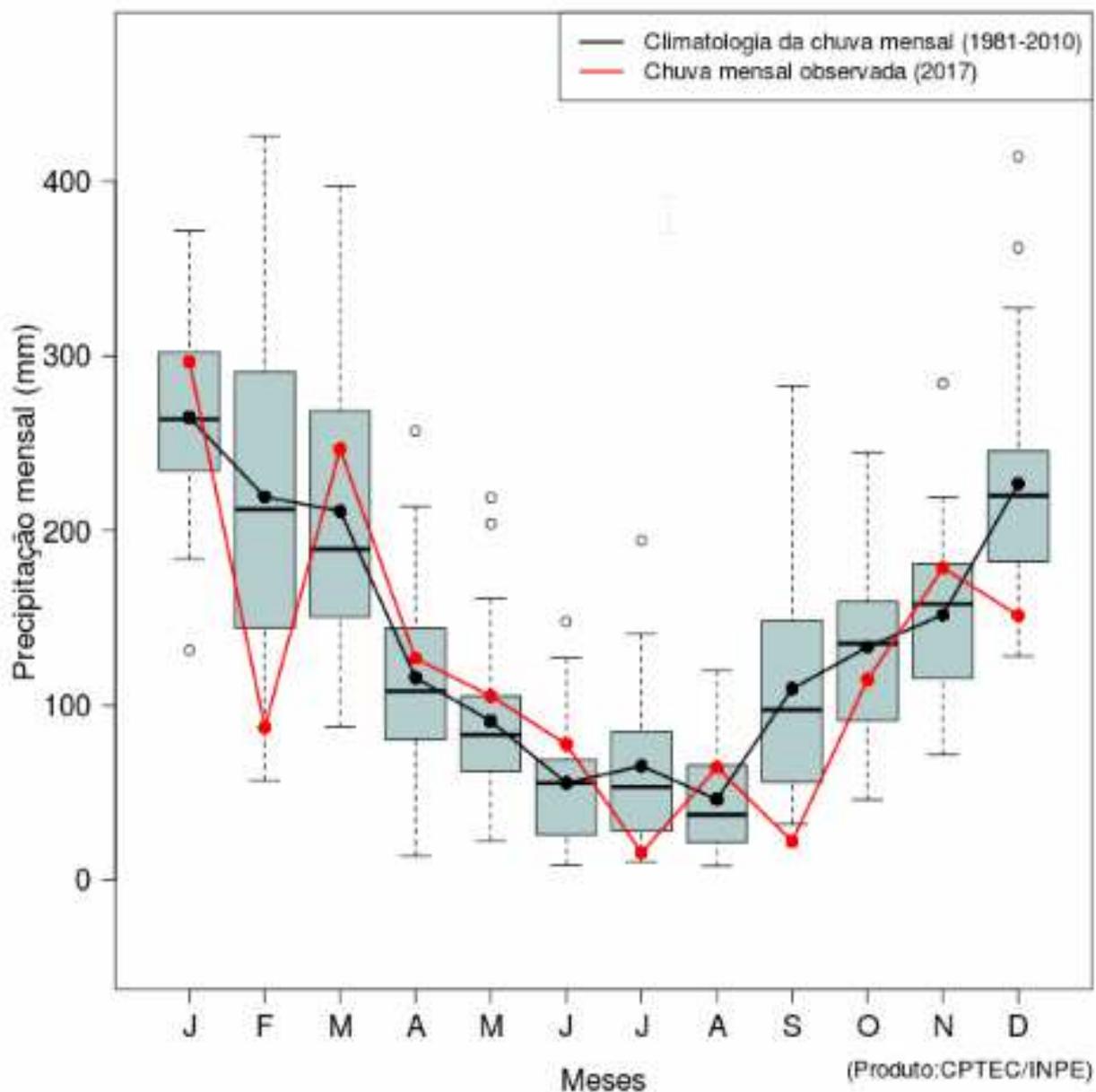
3. Payback.

O *Payback*, que consiste na taxa de retorno do investimento da implantação do projeto, é fundamental e deve ser calculado antes da implantação do sistema.

4.1 ANÁLISE DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO LOCAL

O gráfico da Figura 18, apresenta na linha vermelha os valores de precipitação mensal e na linha preta os valores da série histórica de 1981 a 2010, considerada como referência para o site do CPTEC/INPE. Neste gráfico, modelo bloxpot, as barras em cinza representam os valores de precipitação acumulado da série histórica e a linha horizontal no centro de cada barra representam os valores medianos de cada período. Os círculos vazados representam os valores extremos.

Figura 18. Gráfico de precipitação mensal de 2017 da região 114



Fonte: CPTEC/INPE

Analisando os dados da precipitação de 2017 mostrados na Figura 18, nota-se que a quantidade de chuva está muito próxima da média histórica adotada, sendo que nos meses de fevereiro, junho, setembro e outubro, estes valores de precipitação ficaram abaixo da média histórica.

No capítulo 3, foi feito o cálculo da quantidade de água disponível na região com dados de precipitação de 2014 a 2016. A Tabela 13 mostra o cálculo da quantidade de água disponível na região com os dados de precipitação de 2017, atualizados até novembro de 2017.

Tabela 13. Cálculo da quantidade de água pluvial disponível na região, precipitação mensal de 2017.

Coeficiente de runoff		0,8				
Meses	Precipitação mensal	Demanda mensal	Área de captação	Vchuva mensal	Diferença entre o Vchuva - Vdemanda	Situação do reservatório
	(mm)	(m ³)	(m ²)	(m ³)	(m ³)	
Janeiro	300	30	3464	831	801	E
Fevereiro	85	30	3464	236	206	E
Março	250	30	3464	693	663	E
Abril	130	30	3464	360	330	E
Mai	105	30	3464	291	261	E
Junho	80	30	3464	222	192	E
Julho	20	30	3464	55	25	E
Agosto	70	30	3464	194	164	E
Setembro	30	30	3464	83	53	E
Outubro	100	30	3464	277	247	E
Novembro	180	30	3464	499	469	E
Dezembro		30	3464	0	-30	
Total	1350	360		3741		

Fonte: Autora.

De acordo com a tabela 13, foi possível concluir que a quantidade de chuva disponível na região de São José dos Campos é suficiente para abastecer o sistema de aproveitamento de água de chuva para lavagem de aeronaves, atendendo à demanda de 30 m³ mensais.

4.2 ANÁLISE DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA

Durante a elaboração do plano de pesquisa, foi proposta a coleta e análise de uma amostra de água de chuva por mês durante o ano de 2017. Em alguns meses não foi possível efetuar esta coleta devido à baixa quantidade de chuva na região. Conforme já descrito anteriormente, é necessário ter um valor considerável de chuva para garantir o escoamento da água inicial captada, pois deve ser considerado um volume de descarte inicial compreendido entre 0,4L/m² a 8L/m² da área do telhado.

Analisando os valores das amostras coletadas foi possível concluir que:

- Coliformes totais

Como em todas as amostras houve a presença de coliformes, provavelmente proveniente de fezes de pássaros e de resíduos de materiais orgânicos, deve-se prever para o sistema um método simples de cloração. Apesar da água não ser utilizada para fins potáveis, pode haver o contato do operador com a água, levando-a até a boca ocasionalmente. A instalação de um sistema clorador, é um cuidado adicional.

- Cor

A referência de cor, segundo a NBR 15527 de 2007, é $<15\mu\text{H}$. Todas as amostras coletadas ficaram dentro deste parâmetro, dispensando qualquer necessidade de tratamento ou correção de cor.

- Turbidez

A referência de turbidez da NBR 15527 de 2007 é que seja $< 5 \text{ NTU}$. Somente em uma das amostras se obteve um valor acima de 5NTU . Pode-se considerar que houve alguma interferência neste resultado, mas dispensa-se qualquer medida de tratamento ou correção de turbidez.

- pH

Todas as amostras tiveram valor de pH dentro dos parâmetros exigidos pela NBR 15527 de 2007, ou seja, valores compreendidos entre $6 \leq \text{pH} \leq 8$.

4.3 CÁLCULO DO *PAYBACK*

O *Payback* consiste no cálculo do retorno do valor investido no projeto, para que fosse calculado foi preciso efetuar o levantamento do investimento necessário para implantar o sistema de aproveitamento de água de chuva.

A tabela 14 mostra os materiais, quantidades e valores necessários para a implantação do projeto.

Tabela 14. Lista de materiais necessários para implantação do projeto.

Material	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Filtro vertical	1	50	50
Tubulação 880	10 m	340 (6m)	680
Flush (container 1500L)	1	1.000	1.000
Cisterna 10m ³	4	2300	9.200
Bomba solar	1	2500	2500
Filtro de grade	1	90	90
			13.520,00

Fonte: Autora.

O compartimento do *flush* deve conter um volume que varia de 0,4L/ m³ a 8 L/ m³ por m² de área do telhado, conforme já mencionado no capítulo 2, item 2.3.4.

Segue cálculo para determinar o volume do *flush*:

Flush : 0,4L/ m² de área de telhado;

Área do telhado: 3.464 m²

Volume do *flush*: 0,4 x 3.464 = 1.385,6 m³

Para facilitar a aquisição do compartimento de *flush* no mercado, considerou-se o volume de 1.500 m³ para este recipiente.

Para o cálculo do *Payback* é necessário saber o quanto será economizado com a implantação do projeto. Para isso, necessita-se calcular a quantidade economizada com a redução do consumo de água e do esgoto descartado.

A tabela 15 mostra os valores de tarifa cobrados pela SABESP para abastecimento de água e tratamento de esgoto na região do Vale do Paraíba, onde está localizada a cidade de São José dos Campos..

Tabela 15. Tarifas cobradas pela SABESP na região do Vale do Paraíba.

Volume da demanda contratada m ³ /mes	Tarifas de água R\$ / m ³	Tarifas de esgoto R\$ / m ³
500 a 1.000	9,08	9,08
1.001 a 2.999	8,57	8,57
3.000 a 10.000	8,02	8,02
10.001 a 20.000	7,51	7,51
20.001 a 30.000	7,02	7,02
30.001 a 40.000	6,54	6,54
Acima de 40.000	6,00	6,00

Fonte: www.sabesp.com.br

Volume de água de lavagem por aeronave: 3,675 m³;

Quantidade de aeronaves entregues por ano: 100 aeronaves;

Volume de água anual necessário : 100 x 3,675=367,5 m³ /ano;

Volume de água mensal necessário: 367,5 m³ /mes / 12 = 30,6 m³ /mes

Para este volume, a tarifa de abastecimento de água cobrada pela SABESP é de R\$ 9,08 / m³ e também é o mesmo valor de tarifa cobrado para o tratamento do esgoto.

A Tabela 16 mostra o valor economizado na lavagem de água e tratamento de esgoto no processo de lavagem de aeronaves.

Tabela 16. Economia mensal de água e esgoto na lavagem de aeronaves.

Volume mensal (m ³ /mes)	Economia mensal água (R\$)	Economia mensal esgoto (R\$)	Total economizado (R\$)
30	272,40	272,40	544,80

Fonte: Autora.

Como o projeto considerou o reuso do efluente descartado no processo de lavagem de aeronaves em aplicações como lavagem de pátios, jardinagem e até mesmo lavagem de outras aeronaves, a economia desta água também foi contabilizada no cálculo do retorno uma vez que deixa de consumir água de boa qualidade para estas aplicações.

Foi considerado que o volume desta economia é equivalente ao volume do efluente gerado na lavagem de aeronaves, ou seja, 30 m³/mes.

Para o cálculo do ganho do reaproveitamento do efluente da lavagem de aeronaves, não se contabiliza ganhos com o tratamento de esgoto, pois após esta reutilização o mesmo não mais será reaproveitado e sim descartado.

A Tabela 17 mostra o valor referente ao total economizado com o reaproveitamento da água de efluente.

Tabela 17. Economia mensal de água reaproveitada do efluente de lavagem de aeronaves.

Volume mensal (m ³ /mes)	Economia mensal água (R\$)	Total economizado (R\$)
30	272,40	272,40

Fonte: Autora.

A Tabela 18 mostra o valor total economizado com a implantação do projeto de aproveitamento da água de chuva para lavagem de aeronaves e reaproveitamento do efluente deste processo.

Tabela 18. Cálculo total dos ganhos mensais com a implantação do projeto.

	Volume mensal (m ³ /mes)	Economia mensal água (R\$)	Economia mensal esgoto (R\$)	Total economizado (R\$)
Lavagem de aeronaves	30	272,40	272,40	544,80
Reaproveitamento de efluentes	30	272,40	-	272,40
TOTAL	60	544,80	272,40	817,2

Fonte: Autora.

Para se calcular o *Payback*, é necessário dividir o valor do investimento pelo valor economizado mensalmente.

O número encontrado corresponde ao tempo de retorno, ou seja, à quantidade de meses necessária para que o valor investido passe a dar retorno.

Payback = Investimento / Economia mensal.

Payback = R\$ 13.520,00/ R\$ 817,2 = 16,5 meses.

5 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.

Para o estudo da viabilidade de implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuvas é fundamental a análise da precipitação da região. O volume de chuvas disponível na região é fator determinante para a implantação do projeto. Além disto, deve-se tomar o cuidado de analisar os parâmetros de qualidade da água coletada de modo que atendam à necessidade para a qual ela será utilizada.

O sistema deve ser projetado da forma mais econômica possível de modo que o retorno do investimento ocorra no menor tempo possível. Este cuidado deve ser sempre observado, uma vez que as tarifas aplicadas para a água e o esgoto não são elevadas, e uma instalação de alto custo pode aumentar muito o tempo de retorno, inviabilizando a implantação do projeto.

Muito além do retorno financeiro, deve ser levado em consideração os benefícios ao meio ambiente que a implantação de um sistema de aproveitamento de água proporciona. É fundamental valorizar um projeto que tem como resultado a preservação de recursos naturais e, uma vez que se deixa de utilizar água potável ou tratada em aplicações que não requerem água tratada e indiretamente economiza-se também energia com o bombeamento e tratamento de água.

O estudo realizado neste trabalho mostrou que a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuvas para a lavagem de aeronaves é viável, uma vez que a quantidade de chuvas na região é suficiente para suprir a demanda, e a água tem qualidade que atende às necessidades do processo sem a exigência de grandes correções.

O tempo de *payback* calculado foi de 16,5 meses, tempo este considerado adequado para que o investimento do projeto apresente retorno financeiro.

Como sugestão de continuidade do estudo realizado, este trabalho pode ser estendido para centros de prestação de serviços de aeronaves e aeroportos e aplicado para aeronaves de maior porte. Presume-se que o resultado seja muito maior devido à grande quantidade de companhias aéreas e ao alto número de aeronaves em circulação nestes locais.

Este estudo pode também ser estendido para indústrias que tenham alto consumo de água tratada para abastecimento de seus processos e que utilizam água de boa qualidade desnecessariamente, ou seja, podem ter esta água substituída por abastecimento de água da chuva. Como exemplo podemos citar indústrias automotivas e fabricantes de autopeças.

REFERÊNCIAS

AJUKUMAR, V. N.; GANDHI, O. P. *Evaluation of green maintenance initiatives in design and development of mechanical systems using an integrated approach. Journal of Cleaner Production*, v. 51, p. 34–46, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria . Rio de Janeiro, 1998.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12213**: Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12214**: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação. São Paulo, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. São Paulo, 2007.

AZUL. **Frota de aeronaves**. Disponível em: <<http://www.voeazul.com.br>>. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

CPTEC/INPE. **Banco de dados**. Estações Climatológicas. Disponível em: <<http://www.bancodedados.cptec.inpe.br/climatologia>>. Acesso em: 27 de novembro de 2017.

DANGELICO, R. M. Green Product Innovation: Where we are and where we are Going. **Business Strategy and the Environment**, 2015.

DANGELICO, R.M.; PONTRANDOLFO, P. From green product definitions and classifications to the Green Option Matrix. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 16–17, p. 1608–1628, 2010.

FERNANDES, P.T. **Método de desenvolvimento integrado de produto orientado para a sustentabilidade**. 2013. Dissertação (Mestrado) –Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2013.

GEHIN, A.; ZWOLINSKI, P.; BRISSAUD, D. *A tool to implement sustainable end-of-life strategies in the product development phase*. **Journal of Cleaner Production**, v.16, p.566-576, 2008.

GOL. **Frota de aeronaves** . Disponível em: <<http://www.voegol.com.br>>. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

LATAM. **Frota de aeronaves**. Disponível em: <<http://www.latam.com>>. Acesso em: 20 de agosto de 2017.

MAY, S. **Caracterização, tratamento e reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2009. 223 f. Tese (doutorado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

MAY,S. **Estudo da viabilidade para aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

RAHMAN , S. *et al*. Sustainability of rainwater harvesting system in terms of water quality. **Hidawi Publishing Corporation The Scientific Journal**. Kuala Lumpur, v.2014 n.721357 , 2014 . Disponível em : <<http://dx.doi.org/10.1155/2014/721357>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2017.

SABESP. **Serviços e tarifas**. Disponível em : <<http://www.sabesp.com>>. Acesso em 11 de dezembro de 2017.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar, 2003. 182p.

TOMAZ, P. **Economia de água para empresas e residenciais**: um estudo atualizado sobre medidas convencionais e não convencionais do uso racional da água. São Paulo: Navegar, 2001. 111p.

ZANETI, R.; ETCHEPARE, R.; RUBIO, J. More environmentally friendly vehicle washes: water reclamation. **Journal of cleaner production**, Porto Alegre, v. 37, p. 115-124, 2012.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Política de gestão da água**: Informações hidrológicas. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS . **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos, 2005. (caderno de recursos hídricos 1).

AMORIM, M.C.C. Avaliação da qualidade bacteriológica das águas de cisternas. Estudo de caso no município de Petrolina – PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, 3., 2001, Paraíba. **Anais...** Paraíba: ABRH, 2001. p.9.

ANCCT – Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica. **Precipitação** . Disponível em : <http://atelier.uarte.mct.pt/rota-do-tempo/umidade/precipitacao.htm> . >. Acesso em: 15 de abril de 2017.

ASANO, T. Water reuse issues technologies and applications. California: Mc Graw Hill Metcalf & Eddy AECON, 2007. 1570 p.

BARBOSA, J. G. **Análise do uso racional da água em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo**: métodos, práticas e certificação ambiental. 2013. 305f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BAUER, M.; MÖSLE, P.; SCHWARZ, M. **Green Building**: guidebook for sustainable architecture. Stuttgart: RAS Editor, 2010. 209 p.

BRASIL. Casa Civil. **Lei Federal n. 9433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a política nacional de recursos hídricos e cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. Brasília, 1997.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução n. 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 2. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006. 147 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n. 518**, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, 2004.

CARVALHO, J. **Avaliação da qualidade da água captada de um sistema de captação pluvial**. 2014. 86f. Dissertação (mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Laboratório de Ecologia Isotópica, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

CHENG, C.L. **The evaluation of water conservation for green building in Taiwan**. In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. Proceedings. CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro, v.1, p. B5-1B5-10, 2001.

Modelo do AMORIM

CHU, S.C. et. al. **The study for influencing factors os rainwater catchment system capacity**. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA. 9., Petrolina, 1999. **Proceedings...** Petrolina: ABRH, 1999. p. 8.

COMITÊ LEED. **Uso racional da água (WE)**: redução do consumo de água e geração de efluentes. Disponível em : <<http://www.gcb.brasil.org.br/?p=comiteNC>>. Acesso em: 05 de outubro de 2017.

Comite LEED. **Uso Racional da água (WE)**. Tecnologias Inovadoras para águas residuárias. disponível em: < <http://www.gcb.brasil.org.br/?p=comiteNC>>. Acesso em: 05 de outubro de 2017.

CUNHA, V. D. **Estudo para proposta de critérios de qualidade de água para reuso urbano**. 2008. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ERNST, M. *et al.* An integrated wastewater treatment and reuse concept for the olympic Park 2008, Beijing. **Desalination**, cidade, v. 202, p. 293-301, 2007.

FECOMÉRCIO. **O uso racional da água no comércio**. São Paulo, SABESP, 2010. 156 p. Cartilha.

FIESP; SINDUSCON/SP; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA); COMASP. **Conservação e reuso da água em edificações**. São Paulo: Prol Editora, 2006.

FUNAMIZU, N.; ONITSUKA, T.; HATORI, S. Water reuse in Japan: international survey of current practice, issues, and needs. **Scientific and Technical Report**, London, n. 20, p. 373-386, 2008.

HAQUE, M.; RAHMAN, A.; SAMALI, B. Evaluation of climate change impacts of rainwater harvesting. **Journal of cleaner production**, Sidney, v.137, p. 60-69, 2016.

LEE, K.E.; *et al.*, Rainwater harvesting as an alternative water resource in Malaysia: Potential, policies and development. **Journal of cleaner production**, Malaysia, v. 126, p. 218-222, 2016.

BRASIL. Agência Nacional das Águas. **Lei 9984/2000**. Outorga do direito de uso do recurso hídrico. Brasília, 2000.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: uso racional e reuso**. São Paulo : Oficina de textos, 2005. 144p.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Programa para gerenciamento de águas e efluentes nas indústrias visando o uso racional e o reuso . **Revista Engenharia Ambiental e Sanitária**, v.4, n.1, jan/mar e n.2, abr/jun. 1999. Disponível em: <http://www.usp.br/cirra/arquivos/eng_amb_prof_mierzwa1.pdf >. Acesso em: 05 de dezembro de 2017.

NUNES, R. T. S. **Conservação da água em edifícios comerciais: potencial de uso racional e reuso em shopping center**. 157f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

PEIXOTO, L. M. **Requisitos e critérios de desempenho para sistema de água não potável de edifícios residenciais**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ROMERO, M. A.; REIS, L.B.; JUNIOR, A.P. **Eficiência energética em edifícios**. Barueri: Manole, 2012. 195 p. (série sustentabilidade).

RODRIGUES, R. S. **As dimensões legais e institucionais do reuso de água no Brasil : Proposta de regulamentação do reuso no Brasil**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SILVA,A.; GHISI, E. Uncertainty analysis of daily potable water demand on the performance evaluation of rainwater harvesting systems in residential buildings; **Elsevier, Journal of Environmental Management** v 180, p. 82-93, 2016.

TELLES, D. D. A. **Reuso da água: conceitos, teorias e práticas**. Ed. Blucher, São Paulo, 2007.