



**Universidade do Estado do Rio de Janeiro**  
Centro de Tecnologia e Ciências  
Faculdade de Engenharia

Patrícia da Silva Figueirêdo Ferreira  
Patricia Constantino Motta

**Estudo para aproveitamento de águas pluviais no sistema de refrigeração e irrigação de jardins do Centro Cultural Justiça Federal,  
Rio de Janeiro, RJ**

Rio de Janeiro  
2016

Patrícia da Silva Figueirêdo Ferreira

Patricia Constantino Motta

**Estudo para aproveitamento de águas pluviais no sistema de refrigeração e irrigação de jardins do Centro Cultural Justiça Federal, Rio de Janeiro, RJ**

Projeto de graduação apresentado  
como requisito parcial para obten-  
ção do título de Bacharel em Enge-  
nharia Civil, da Universidade do Es-  
tado do Rio de Janeiro.

Orientador:

Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior

Rio de Janeiro

2016

## CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

F383 Ferreira, Patrícia da Silva Figueirêdo.

Estudo para aproveitamento de águas pluviais no sistema de refrigeração e irrigação de jardins no Centro Cultural Justiça Federal, Rio de Janeiro, RJ / Patrícia da Silva Figueirêdo Ferreira, Patricia Constantino Motta. – 2016.

109f.

Orientador: Alfredo Akira Ohnuma Júnior.

Projeto Final (Graduação) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

Bibliografia p.98-105.

1. Engenharia civil. 2. Recursos hídricos. 3. Águas pluviais - Aproveitamento. 4. Água - Consumo. I. Motta, Patricia Constantino. II. Ohnuma Júnior, Alfredo Akira. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV. Título.

CDU 624

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

---

Assinatura

---

Data

Patricia da Silva Figueirêdo Ferreira

Patrícia Constantino Motta

**Estudo para aproveitamento de águas pluviais no sistema de refrigeração e irrigação de jardins do Centro Cultural Justiça Federal, Rio de Janeiro, RJ**

Projeto de graduação apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 25 de novembro de 2016.

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior (Orientador)  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Profª. Drª. Ana Silvia Pereira Santos  
Faculdade de Engenharia – UERJ

---

Prof. Dr. Marcelo Obraczka  
Faculdade de Engenharia - UERJ

Rio de Janeiro

2016

## AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente aos meus pais, Severina e Miguel, e ao meu irmão, Michel, pelo amor e incentivo durante todos esses anos de faculdade.

Ao Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior pela orientação deste trabalho e pelos momentos de aprendizado.

A minha companheira de projeto, Patricia, pela parceria e dedicação para que este trabalho se tornasse possível.

A todos os colegas de trabalho do CCJF, especialmente Carlos Alberto (*in memoriam*) pelo apoio e oportunidade de estágio, Dr. Jaderson, Francisco, Izabela e Aline por todo o suporte e ajuda na busca de informações para desenvolver este trabalho.

A todos os meus familiares e amigos que fizeram parte desta etapa decisiva da minha vida.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me dar forças para superar mais esta es-  
tapa de minha vida.

Aos meus pais, Celso (*in memoriam*) e Marilene, por todo o amor, incentivo e  
suporte ao longo dessa caminhada.

Ao meu esposo Márcio, pelo apoio, compreensão e amor que me tem dedicado.

Ao Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior, pela orientação deste trabalho e pe-  
los momentos de aprendizado.

A minha companheira de projeto, Patrícia, pela parceria e dedicação para que  
este trabalho se tornasse possível.

A todos os familiares e amigos, que acompanharam de perto a minha trajetória  
e que me incentivaram a não desistir de alcançar meus sonhos.

A todos os funcionários do CCJF que nos ajudaram na busca de informações  
necessárias ao desenvolvimento deste trabalho, especialmente a Carlos Alberto (*in  
memoriam*) que me recebeu com alegria e foi muito solícito.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica.

## RESUMO

FERREIRA, Patrícia da Silva Figueirêdo; MOTTA, Patricia Constantino. *Estudo para aproveitamento de águas pluviais no sistema de refrigeração e irrigação de jardins do Centro Cultural Justiça Federal, Rio de Janeiro, RJ.* 109f. Projeto Final (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

A distribuição desigual dos recursos hídricos no mundo somada ao crescimento populacional e ao consequente aumento da demanda por água potável evidenciam o problema da escassez mundial deste recurso. Dentro deste cenário, o aproveitamento de águas pluviais contribui para a sua preservação, gerando economia de recursos hídricos e financeiros a partir da diminuição do consumo de água potável, além de auxiliar na mitigação dos problemas de inundações das grandes cidades. Neste trabalho é apresentado o estudo de aproveitamento de águas pluviais para atender a demanda do sistema de refrigeração e da rega de jardins no Centro Cultural Justiça Federal. Foi elaborada uma revisão bibliográfica abordando o panorama dos recursos hídricos no mundo, Brasil e Rio de Janeiro, o aproveitamento e a previsão de consumo de águas pluviais em instituições, bem como a qualidade dessas águas e a normatização aplicável. Foram levantados os dados pluviométricos, a demanda de consumo e a área de captação do telhado da instituição e calculado o volume do reservatório de armazenamento através de diferentes métodos de dimensionamento, que apresentaram valores muito diferentes. Foi constatado que a demanda de água para as atividades propostas é aproximadamente 4 vezes maior que o volume de chuva aproveitável, e por isso, foi considerada uma redução da demanda, a qual será atendida durante 8 dias por mês. A economia direta no valor da conta de água potável seria de 14% e 12%, para os anos de 2014 e 2015, respectivamente, caso o sistema de aproveitamento de águas pluviais estivesse em funcionamento.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de águas pluviais. Recursos hídricos. Consumo de água.

## ABSTRACT

FERREIRA, Patrícia da Silva Figueirêdo; MOTTA, Patricia Constantino. *Estudo para aproveitamento de águas pluviais no sistema de refrigeração e irrigação de jardins do Centro Cultural Justiça Federal, Rio de Janeiro, RJ.* 109f. Projeto Final (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

The water resources are unevenly distributed on Earth's surface. The population growth increases the freshwater demand and demonstrates the water scarcity as a main problem to be faced by humanity. The rainwater harvesting systems can contributes to water conservation activities and measures of control stormwater drainage in urban areas. This work aims to available a rainwater harvesting system with collection and using for the irrigation and cooling systems at Centro Cultural Justiça Federal in the city of Rio de Janeiro. This work demonstrates the distribution of water resources in the world, Brazil and Rio de Janeiro, the water consumption in several institutions, the water quality standards and applied laws about this subject. For this study are investigated series of rainfall data in the region of the study, demand and collection area for rainwater storage tanks calculations by diferente methods. As a result the water demand for the proposed activities is approximately 4 times more than the amount of rainwater that could be used, and therefore, a reduction on the demand was considerate. It will be enough to attend part of the water consumption for these activities during 8 days a month. The direct savings on potable water bills would be 14% and 12% for the years 2014 and 2015, respectively, if the rainwater harvesting system was in operation.

**Keywords:** Rainwater harvesting. Water resources. Water consumption.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Divisão Hidrográfica Nacional .....	20
Figura 2 -	Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro e delimitação da Bacia do Rio Paraíba do Sul .....	23
Figura 3 -	Esquema simplificado de aproveitamento de águas pluviais....	44
Figura 4 -	Áreas de planejamento do município do Rio de Janeiro.....	54
Figura 5 -	Localização do CCJF na região metropolitana do ERJ.....	56
Figura 6 -	Vista aérea do CCJF.....	57
Figura 7 -	Indicações para cálculo de área de contribuição .....	58
Figura 8 -	Localização da Estação Pluviométrica Saúde .....	59
Figura 9 -	Probabilidade de escorregamento .....	59
Figura 10 -	Funcionamento do sistema de ar condicionado central de expansão indireta .....	61
Figura 11 -	Torre de resfriamento .....	62
Figura 12 -	Sistema de refrigeração - Chiller.....	108
Figura 13 -	Localização da cisterna do sistema de refrigeração do CCJF-RJ.....	64
Figura 14 -	Área de jardins – vista 1 .....	108
Figura 15 -	Área de jardins – vista 2 .....	109
Figura 16 -	Planta do calçamento – CCJF .....	66
Figura 17 -	Área de contribuição da cobertura da edificação do CCJF-RJ .	71
Figura 18 -	Materiais componentes do telhado .....	72
Figura 19 -	Fluxograma de tratamento de água de chuva.....	91
Figura 20 -	Filtro tipo Vortex proposto no sistema de tratamento de águas pluviais no CCJF-RJ .....	91
Figura 21 -	Desenho esquemático sugerido de locação dos reservatórios.....	93

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Produção hídrica do mundo por região .....	18
Tabela 2 -	Disponibilidade hídrica e vazões médias, por região hidrográfica brasileira .....	21
Tabela 3 -	Exigências mínimas para o uso de água não potável nas edificações.....	31
Tabela 4 -	Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis.....	33
Tabela 5 -	Parâmetros básicos de qualidade de água para irrigação de áreas verdes.....	34
Tabela 6 -	Variáveis de qualidade de água recomendadas para o uso em torres de resfriamento .....	35
Tabela 7 -	Qualidade padrão de água de reposição para sistema de refrigeração .....	36
Tabela 8 -	Consumo médio diário para diversos tipos de empreendimento .....	40
Tabela 9 -	Consumos de água específicos de natureza institucional .....	41
Tabela 10 -	Usos finais da água tratada em dez edificações do setor público de Florianópolis.....	42
Tabela 11 -	Estimativa de consumo diário de água para Serviço Público ..	43
Tabela 12 -	Coeficientes de <i>runoff</i> médios para diferentes materiais.....	45
Tabela 13 -	Série histórica de precipitação da estação Saúde em mm.....	106
Tabela 14 -	Série histórica do consumo de água no CCJF-RJ em m <sup>3</sup> .....	63
Tabela 15 -	Consumo e faturamento mensal de água potável no CCJF-RJ .....	69
Tabela 16 -	Dimensões e área da cobertura do CCJF-RJ.....	72
Tabela 17 -	Consumo desagregado de água estimado por atividade/ serviço .....	74

Tabela 18 -	Demandas médias mensais e diárias de água não potável para irrigação e sistema de refrigeração .....	75
Tabela 19 -	Determinação de volumetria dos ambientes atendidos pelo sistema de refrigeração .....	76
Tabela 20 -	Volume de água de chuva aproveitável na região do CCJF-RJ .....	77
Tabela 21 -	Dimensionamento do reservatório pelo Método deRippl .....	79
Tabela 22 -	Dimensionamento do reservatório pelo Método Prático Australiano.....	82
Tabela 23 -	Dimensionamento do reservatório pelo Método da Simulação .....	85
Tabela 24 -	Comportamento do reservatório adotado pelo método da simulação .....	89
Tabela 25 -	Economia de água estimada para 2014 e 2015 .....	94

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Chuvas médias mensais, no período de 1961-1990, no Estado do Rio de Janeiro .....	24
Gráfico 2 -	Temperaturas médias mensais, no período de 1961-1990, no Estado do Rio de Janeiro .....	25
Gráfico 3 -	Demandas percentuais de água no Estado do Rio de Janeiro por setor usuário .....	26
Gráfico 4 -	Demandas por região hidrográfica por setor de consumo no Estado do Rio de Janeiro .....	27
Gráfico 5 -	Precipitação total anual – estação Saúde .....	60
Gráfico 6 -	Precipitação média mensal no período de 1997 até 2015 – estação Saúde .....	60
Gráfico 7 -	Média de consumo médio mensal de água potável .....	64
Gráfico 8 -	Demandas médias de água no CCJF-RJ x volume de chuva apropriável na região .....	78
Gráfico 9 -	Volumes calculados do reservatório .....	87
Gráfico 10 -	Comportamento do reservatório adotado .....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CCJF	Centro Cultural Justiça Federal
ONU	Organização das Nações Unidas
CNRH	Conselho Nacional dos Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ERJ	Estado do Rio de Janeiro
RH	Região Hidrográfica
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
RMRJ	Região Metropolitana do Rio de Janeiro
ABCMAC	Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva
IFPB	Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
STF	Superior Tribunal Federal
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro
DCSC	Dias Consecutivos sem Chuva

## SUMARIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>Problemática e justificativa</b> .....	15
<b>Objetivo geral</b> .....	16
<b>Objetivos específicos</b> .....	16
<b>1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
<b>1.1 Panorama dos recursos hídricos</b> .....	18
<b>1.1.1 Recursos hídricos no mundo</b> .....	18
<b>1.1.2 Recursos hídricos no Brasil</b> .....	19
<b>1.1.3 Recursos Hídricos no Rio de Janeiro</b> .....	22
1.1.3.1 Precipitação no Estado do Rio de Janeiro .....	24
1.1.3.2 Demanda de água no Estado do Rio de Janeiro .....	25
1.1.3.3 Eventos críticos.....	27
<b>1.2 Aproveitamento de águas pluviais</b> .....	28
<b>1.2.1 Aproveitamento de águas pluviais em instituições no Estado do Rio de Janeiro</b> .....	29
<b>1.2.2 Qualidade da água pluvial</b> .....	30
<b>1.2.3 Normatização e legislação aplicável</b> .....	37
<b>1.2.4 Previsão de consumo em instituições</b> .....	39
<b>1.2.5 Principais componentes do sistema de captação de águas pluvial</b> .....	44
<b>1.3 Dimensionamento de reservatório</b> .....	48
<b>1.3.1 Método de Rippl</b> .....	49
<b>1.3.2 Método de Azevedo Netto</b> .....	49
<b>1.3.3 Método Prático Alemão</b> .....	50
<b>1.3.4 Método Prático Inglês</b> .....	50
<b>1.3.5 Método Prático Australiano</b> .....	51
<b>1.3.6 Método da Simulação</b> .....	52
<b>1.3.7 Método do número de dias consecutivos sem chuva</b> .....	53
<b>1.3.8 Método da Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU nº001 de 27 de janeiro de 2005</b> .....	54

1.4	<b>Análise econômica</b> .....	55
2	<b>METODOLOGIA</b> .....	56
2.1	<b>Caracterização da área de estudo</b> .....	56
2.2	<b>Levantamento de dados</b> .....	58
2.2.1	<u>Áreas de contribuição do telhado</u> .....	58
2.2.2	<u>Dados pluviométricos</u> .....	58
2.2.3	<u>Sistema de refrigeração</u> .....	61
2.2.4	<u>Demandas de água na edificação</u> .....	63
2.3	<b>Dimensionamento de coleta e armazenamento de água de chuva</b> .....	67
2.3.1	<u>Dimensionamento do reservatório</u> .....	67
2.3.2	<u>Volume de descarte da água de limpeza do telhado</u> .....	67
2.3.3	<u>Tratamento de água</u> .....	67
2.4	<b>Análise econômica simplificada</b> .....	68
3	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS</b> .....	71
3.1	<b>Levantamento de dados</b> .....	71
3.1.1	<u>Área de contribuição do telhado</u> .....	71
3.1.2	<u>Demandas de água da edificação</u> .....	73
3.2	<b>Dimensionamento de coleta e armazenamento da água de chuva</b> .....	76
3.3.1	<u>Volume de água de chuva aproveitável</u> .....	76
3.3.2	<u>Dimensionamento pelo Método de Rippl</u> .....	77
3.3.3	<u>Dimensionamento pelo Método de Azevedo Netto</u> .....	80
3.3.4	<u>Dimensionamento pelo Método Prático Alemão</u> .....	80
3.3.5	<u>Dimensionamento pelo Método Prático Inglês</u> .....	81
3.3.6	<u>Dimensionamento pelo Método Prático Australiano</u> .....	81
3.3.7	<u>Dimensionamento pelo Método da Simulação</u> .....	83
3.3.8	<u>Dimensionamento pelo Método do número de dias consecutivos sem chuva</u> .....	85
3.3.9	<u>Dimensionamento pelo Método da Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU nº001 de 27 de janeiro de 2005</u> .....	86
3.3.10	<u>Comparação dos métodos de dimensionamento do reservatório</u> .....	86

3.3.11	<u>Volume de descarte da água de limpeza do telhado</u> .....	90
3.3.12	<u>Tratamento de água</u> .....	90
3.4	<b>Seleção do local de implantação do reservatório e suas dimensões</b> .....	92
3.6	<b>Análise econômica simplificada</b> .....	93
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	96
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	98
	<b>ANEXO A</b> - Série histórica de precipitação .....	106
	<b>ANEXO B</b> - Fotos .....	108

## INTRODUÇÃO

### Problemática e Justificativa

O crescimento populacional e o processo de industrialização contribuem no aumento da demanda por água doce nos grandes centros urbanos, assim como compromete a qualidade dos mananciais superficiais e subterrâneos.

A população mundial alcançou 7,3 bilhões em 2015, com estimativa de atingir 8,5 bilhões em 2030 e 11,2 bilhões em 2100 (UNITED NATIONS, 2015). O aumento populacional implica no crescimento da demanda de água em todos os setores produtivos (WWAP, 2012), seja no atendimento às necessidades básicas de saúde e higiene do ser humano. Também é utilizada como insumo de várias atividades produtivas econômicas, tais como: agricultura irrigada, produção industrial e produção hidrelétrica, além de desempenhar um papel fundamental na manutenção dos ecossistemas. Segundo estimativas, em 2030 haverá um déficit de 40% no abastecimento de água caso a comunidade internacional continue sendo ineficiente na gestão dos recursos hídricos (2030 WATER RESOURCES GROUP, 2012).

Além dos problemas relacionados à escassez e desabastecimento de água, o desenvolvimento da malha urbana favorece a intensificação das enchentes e inundações urbanas devido ao aumento do volume de escoamento superficial das águas pluviais. Com o aumento da impermeabilização do solo, o volume de água que anteriormente era retido pela vegetação e infiltrava no solo passa a escoar rapidamente até atingir a rede de drenagem, de modo a resultar no aumento de vazões máximas dos rios e na ocorrência de inundações com consequências de grandes proporções.

Sem mencionar os aspectos de qualidade na poluição de águas urbanas, os problemas relacionados aos aspectos quantitativos dos recursos hídricos indicam a necessidade de alternativas capazes de otimizar o atual uso da água pela sociedade. O aproveitamento das águas pluviais apresenta-se como uma técnica alternativa bastante acessível à população, assim como pelas características ambientais relativamente favoráveis no Brasil. Como volume precipitado, a água da chuva pode ser

considerado um recurso hídrico acessível à toda população, independente das condições econômicas e sociais. Além disso, as técnicas de aproveitamento de água pluvial em edificações são soluções sustentáveis que contribuem no uso racional da água, de modo a proporcionar a conservação dos recursos hídricos para as futuras gerações e como medidas estruturais de drenagem urbana possíveis de serem aplicadas de forma descentralizada (MARINOSKI, 2007).

O aproveitamento de águas pluviais pode ser realizado para diversas finalidades, como descarga de bacias sanitárias, lavagem de roupas, pisos e automóveis, resfriamento de equipamentos industriais, torres de arrefecimento, irrigação de jardins, controle de incêndios e na construção civil.

Para viabilizar a captação, armazenamento e uso das águas pluviais, alguns fatores devem ser considerados tais como: o histórico pluviométrico da região, a demanda de consumo a ser atendida e a área de captação disponível da edificação. Além disso, avaliar a qualidade da água é fundamental pela necessidade de tratamento de acordo com a destinação proposta, embora a qualidade das águas pluviais usualmente possam atender aos requisitos de usos não potáveis, de forma viável, mesmo em regiões urbanizadas.

## **Objetivo geral**

O presente trabalho tem por objetivo geral avaliar a viabilidade de implantação de um sistema de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis no Centro Cultural Justiça Federal (CCFJ) do município do Rio de Janeiro, RJ.

## **Objetivos específicos**

Como objetivos específicos têm-se:

- a) estimar o volume médio diário de água consumido pelo sistema de refrigeração e demais atividades, como indicadores de demanda desagregada;

- b) dimensionar os volumes de descarte inicial e do sistema de armazenamento e aproveitamento de águas pluviais para o sistema de refrigeração e irrigação de jardins do CCJF;
- c) calcular a economia de água potável no CCJF em substituição às águas pluviais e o período de retorno do investimento.

## 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 Panorama dos recursos hídricos

#### 1.1.1 Recursos hídricos no Mundo

Apesar de 70,8% da superfície do planeta estar coberta por água (GEO BRASIL, 2007), apenas 2,5% correspondem a água doce. Deste volume total de água doce, 68,9% encontram-se congelados, 29,9% compreendem águas subterrâneas e somente 0,27% está disponível para consumo em lagos, rios e reservatórios (TOMAZ, 2011). A produção hídrica terrestre no mundo, por região (Tabela 1), de forma geral apresenta a distribuição de água nos continentes.

Tabela 1 – Produção hídrica do mundo por região

Regiões do Mundo	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	Porcentagem (%)
Ásia	458.000	31,6
América do Sul	334.000	23,1
América do Norte	260.000	18,0
África	145.000	10,0
Europa	102.000	7,0
Antártida	73.000	5,0
Oceania	65.000	4,5
Austrália e Tasmânia	11.000	0,8
<b>Total</b>	<b>1.448.000</b>	<b>100,0%</b>

Fonte: Tomaz, 2011.

A América do Sul possui a segunda maior produção hídrica do mundo, situando-se apenas atrás da Ásia, que é o continente que concentra mais da metade da população mundial (PNUD, 2011). O Brasil ocupa quase metade da área da América do Sul e apresenta uma posição privilegiada em relação aos outros países no mundo na questão da disponibilidade de recursos hídricos.

O Relatório sobre Desenvolvimento Humano (PNUD, 2006) aponta que até o ano 2025, o número de pessoas que vivem em países submetidos a grande pressão sobre os recursos hídricos passará dos cerca de 700 milhões atuais para mais de três bilhões. Isso porque mais de 1,4 bilhões de pessoas vivem atualmente em bacias hidrográficas onde a utilização de água excede os níveis mínimos de reposição, conduzindo assim à dissecação dos rios e ao esgotamento das águas subterrâneas (GEO BRASIL, 2007).

### **1.1.2 Recursos hídricos no Brasil**

O Brasil detém 60% da bacia amazônica, que escoa cerca de 1/5 do volume de água doce do mundo (GEO BRASIL, 2007). Em tempos de escassez de água e crises de desabastecimento, este patrimônio confere ao país uma responsabilidade especial quanto à sua conservação e uso sustentável.

As vazões médias geradas no território brasileiro totalizam cerca de 180 mil m<sup>3</sup>/s, o que corresponde a 12% da disponibilidade hídrica mundial, que é de 1,5 milhões de m<sup>3</sup>/s (ANA, 2010a).

Em relação à distribuição per capita de água, a Organização das Nações Unidas (ONU) estabelece um piso de 1.700 m<sup>3</sup>/hab./ano, abaixo do qual um país é considerado em situação de estresse hídrico. No Brasil, a vazão média de água é de aproximadamente 33.000 m<sup>3</sup>/hab./ano, cujo volume é cerca de 19 vezes superior ao piso estabelecido pela ONU (GEO BRASIL, 2007). Apesar do grande volume, a distribuição dos recursos hídricos no território brasileiro é bastante desigual em termos geográficos e populacionais. O Brasil apresenta uma população de mais de 190 milhões de habitantes (IBGE, 2013), onde a grande maioria da população está concentrada nas áreas urbanas, que abrigam 84% da população total (GEO BRASIL, 2007).

Dividido em 12 (doze) grandes regiões hidrográficas brasileiras, o país a partir da Resolução do Conselho Nacional dos Recursos Hídricos (CNRH) nº 32, de 15 de outubro de 2003 (Figura 1), visa aprimorar a gestão dos recursos hídricos de forma mais planejada. De acordo com essa Resolução, a região hidrográfica é definida como “*espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-*

*bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com vistas a orientar o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos” (BRASIL, 2003).*

Figura 1 - Divisão hidrográfica nacional



Fonte: Brasil, 2003.

Em virtude de suas dimensões continentais, o Brasil possui uma diversificação climática bem ampla, influenciada por sua configuração geográfica, grande extensão costeira, relevo e a dinâmica das massas de ar sobre seu território. Este último fator assume grande importância, pois atua diretamente sobre as temperaturas e os índices pluviométricos nas diferentes regiões do país (MMA, 2006).

No Brasil, o regime fluvial apresenta variações ao longo do ano, em função sobretudo do regime de precipitações (ANA, 2015a). O clima na maioria das regiões hidrográficas brasileiras é caracterizado por um ciclo anual de chuvas seguido de um período de estiagem. A sazonalidade das chuvas dificulta o aproveitamento direto de

volumes precipitados, de modo que requer estudos de armazenamento de água durante o período chuvoso para utilização nas estiagens (MMA, 2006). O conhecimento da distribuição espacial da precipitação é fundamental na determinação da oferta de água nas bacias brasileiras.

A Tabela 2 mostra a vazão média e a disponibilidade hídrica nas regiões hidrográficas brasileiras. A partir da análise da disponibilidade hídrica, é caracterizada a ampla variabilidade e a distribuição desigual dos recursos hídricos no país. A concentração da população nas regiões em que a oferta de água é mais desfavorável torna o abastecimento de água um desafio nestes locais.

Tabela 2 – Disponibilidade hídrica e vazões médias por região hidrográfica brasileira

Região Hidrográfica	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)	Disponibilidade hídrica (m <sup>3</sup> /s)
Amazônica	132.145	73.748
Tocantins-Araguaia	13.799	5.477
Atlântico Nordeste Ocidental	2.608	320
Parnaíba	767	379
Atlântico Nordeste Oriental	774	91
São Francisco	2.846	1.886
Atlântico Leste	1.484	305
Atlântico Sudeste	3.167	1.145
Atlântico Sul	4.055	647
Paraná	11.831	5.956
Uruguai	4.103	565
Paraguai	2.359	782
Brasil	179.938	91.271

Fonte: ANA, 2013.

A grande variedade de climas que caracteriza o Brasil contribui na verificação de extremos climáticos: enquanto regiões de maior escassez de água apresentam

disponibilidade hídrica inferior a 100 m<sup>3</sup>/s, na Região Hidrográfica Amazônica, a disponibilidade hídrica é extremamente elevada, com vazões da ordem de 74 mil m<sup>3</sup>/s. A Região Amazônica concentra 81% da disponibilidade de recursos hídricos em 45% da extensão territorial do país (ANA, 2010a). Essa disponibilidade de recursos hídricos da região demonstra a desigualdade da distribuição de oferta de água já que sua população corresponde a apenas 5,1% da população do país, com uma densidade demográfica de 2,51 hab./km<sup>2</sup> e demanda total na região de apenas 78,8 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2013).

Por outro lado, 45% da população urbana do país está situada nas regiões litorâneas, enquanto que as Regiões Hidrográficas do Atlântico são responsáveis por apenas 3% da disponibilidade hídrica (ANA, 2010a). Na Região do Atlântico Nordeste Oriental, situa-se parte do polígono das secas, território conhecido por períodos críticos de prolongadas estiagens. Já a Região do Atlântico Sudeste apresenta problemas em relação à disponibilidade de água devido ao desenvolvimento da região, com uma das maiores demandas hídricas do País. Apresenta 92% da população em áreas urbanas, além de possuir uma das menores disponibilidades relativas (ANA, 2013).

O Brasil apresenta ainda reservas de água subterrâneas distribuídas por seu território. As reservas renováveis de águas subterrâneas no país atingem cerca de 42,3 mil m<sup>3</sup>/s ou 24% do escoamento médio dos rios em território nacional e 46% da disponibilidade hídrica superficial (ANA, 2010a).

### 1.1.3 Recursos hídricos no Rio de Janeiro

O Estado do Rio de Janeiro é composto de 92 municípios e está totalmente inserido na Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste. De acordo com o Censo Demográfico de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população total no Estado do Rio de Janeiro é cerca de 16 bilhões de habitantes (8,4% da população total do país), sendo 81% de população urbana localizada nas sedes municipais, 16% de população urbana fora das sedes municipais e 3% de população rural (IBGE, 2013).

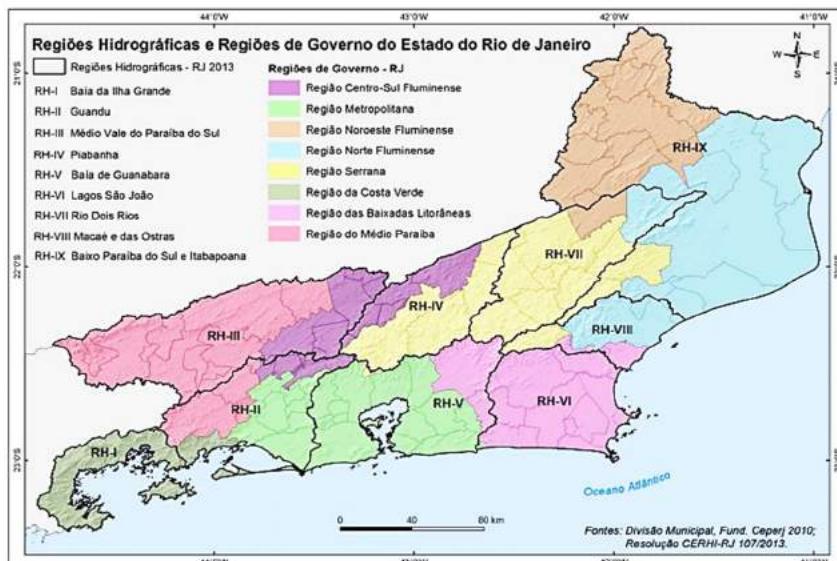
O Estado do Rio de Janeiro (ERJ) apresenta boa disponibilidade hídrica superficial e baixa presença de sistemas aquíferos, sendo ainda 85% dos seus municípios abastecidos exclusivamente por mananciais superficiais (ANA, 2010b).

Em termos de distribuição per capita, a região conta com 1.278,8 m<sup>3</sup>/hab./ano, próximo do piso de situação de estresse hídrico estabelecido pela ONU (ANA, 2013).

Destaca-se no Estado do Rio de Janeiro o rio Paraíba do Sul, que nasce no Estado de São Paulo e acompanha longitudinalmente o Estado do Rio de Janeiro de ponta a ponta. Ele abastece 17 sedes municipais ao longo do seu percurso, além de 9 municípios da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, através da transposição para o rio Guandu. O Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul é formado por um complexo conjunto de estruturas hidráulicas existentes interligando as bacias hidrográficas dos rios Paraíba do Sul e Guandu. Este sistema é responsável pelo abastecimento de cerca de nove milhões de pessoas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (INEA, 2016).

Para fins de gestão, o Estado do Rio de Janeiro está dividido em nove Regiões Hidrográficas de acordo com a Resolução CERHI-RJ nº 107, de 22 de maio de 2013, como mostra a Figura 2 (CERHI-RJ, 2013).

Figura 2 - Regiões Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro e  
delimitação da Bacia do Rio Paraíba do Sul



Fonte: PERHI-RJ, 2014.

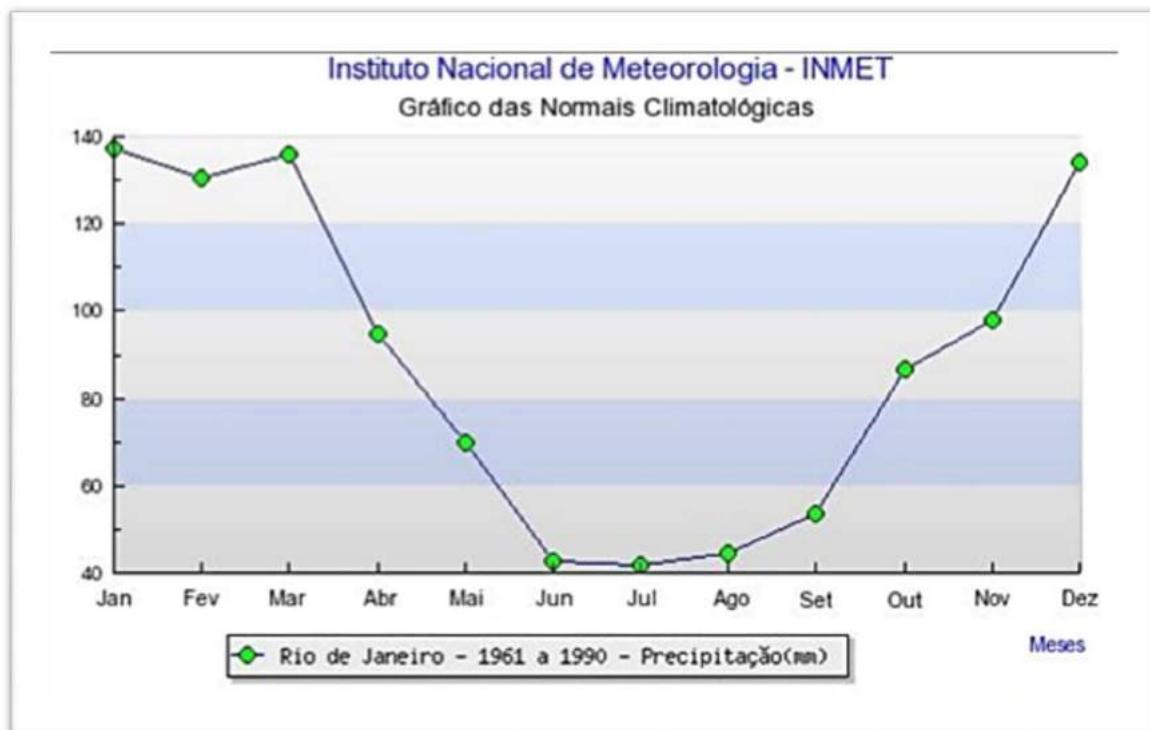
Segundo Fernandes *et al.* (2015), à exceção dos rios Paraíba do Sul e Guandu e da Região Lagos São João, as demais regiões do Estado do Rio de Janeiro não contam com estruturas capazes de reservar água e contribuir para uma vazão mais constante ao longo do ano.

#### 1.1.3.1 Precipitação no Estado do Rio de Janeiro

Diversos fatores climáticos favorecem a ocorrência de chuvas intensas no estado do Rio de Janeiro. As chuvas e as temperaturas são maiores nos meses de verão, de dezembro a março, e menores nos meses de inverno, de julho a setembro. Registros climatológicos históricos mostram episódios de chuvas torrenciais que ultrapassam 400 mm em poucos dias, especialmente nos meses de janeiro e fevereiro.

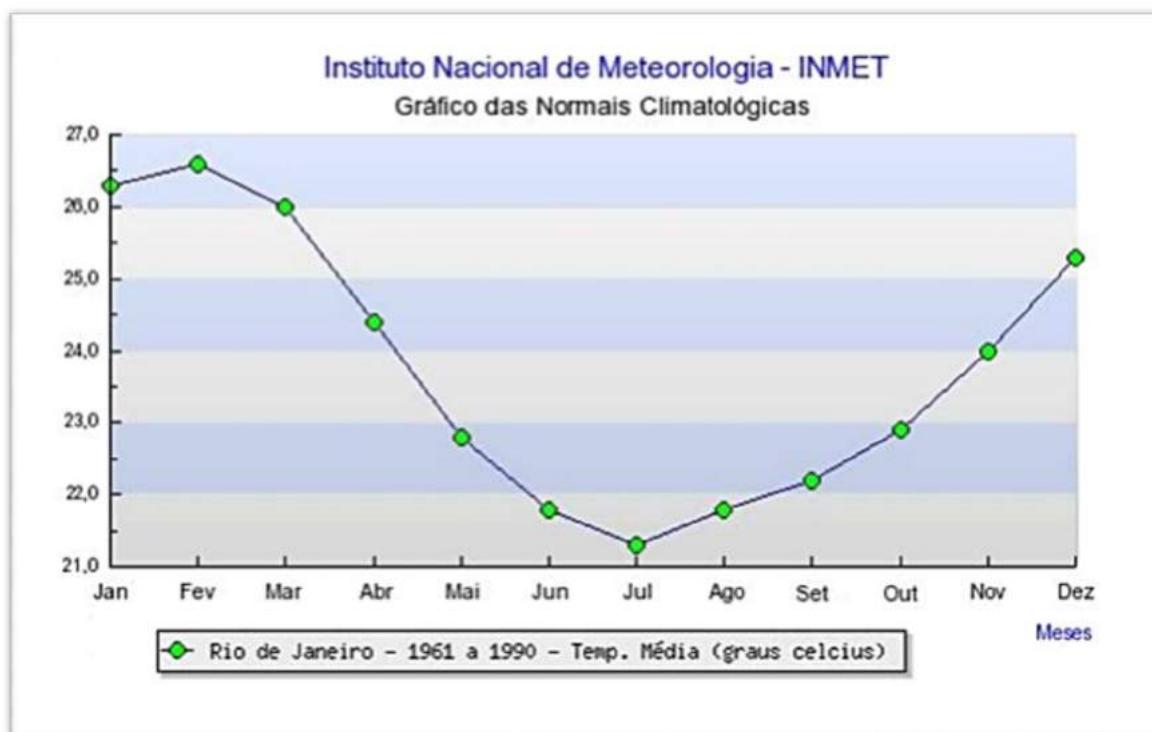
Os Gráficos 1 e 2 mostram as normais climatológicas de precipitação e temperatura no período de 1961-1990, no Estado do Rio de Janeiro.

Gráfico 1 - Chuvas médias mensais, no período de 1961-1990, no Estado do Rio de Janeiro



Fonte: PERHI-RJ, 2014.

Gráfico 2 - Temperaturas médias mensais, no período de 1961-1990, no Estado do Rio de Janeiro



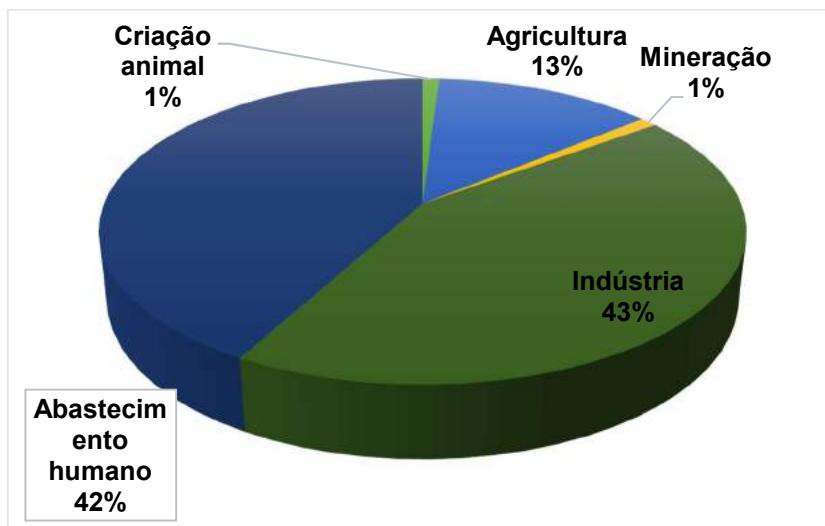
Fonte: PERHI-RJ, 2014.

As chuvas intensas em regiões densamente ocupadas podem resultar graves ocorrências tais como mortes, perdas materiais e danos ambientais, principalmente nas regiões metropolitana e serrana (PERHI-RJ, 2014). Em contrapartida, observa-se nos últimos anos uma redução dos índices pluviométricos especialmente no Sudeste brasileiro, com prejuízos na oferta de água, sobretudo nos mananciais de abastecimento de regiões populosas como a metrópole do Rio de Janeiro (ANA, 2015b).

#### 1.1.3.2 Demanda de água no Estado do Rio de Janeiro

O conhecimento da quantidade de água utilizada ou demandada nos diversos usos instalados ou projetados para as bacias hidrográficas é fundamental para uma adequada caracterização da disponibilidade hídrica e ainda para a gestão da bacia. A demanda hídrica no Estado do Rio de Janeiro por setor de usuários pode ser visualizada no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Demanda percentual de água no Estado do Rio de Janeiro por setor usuário

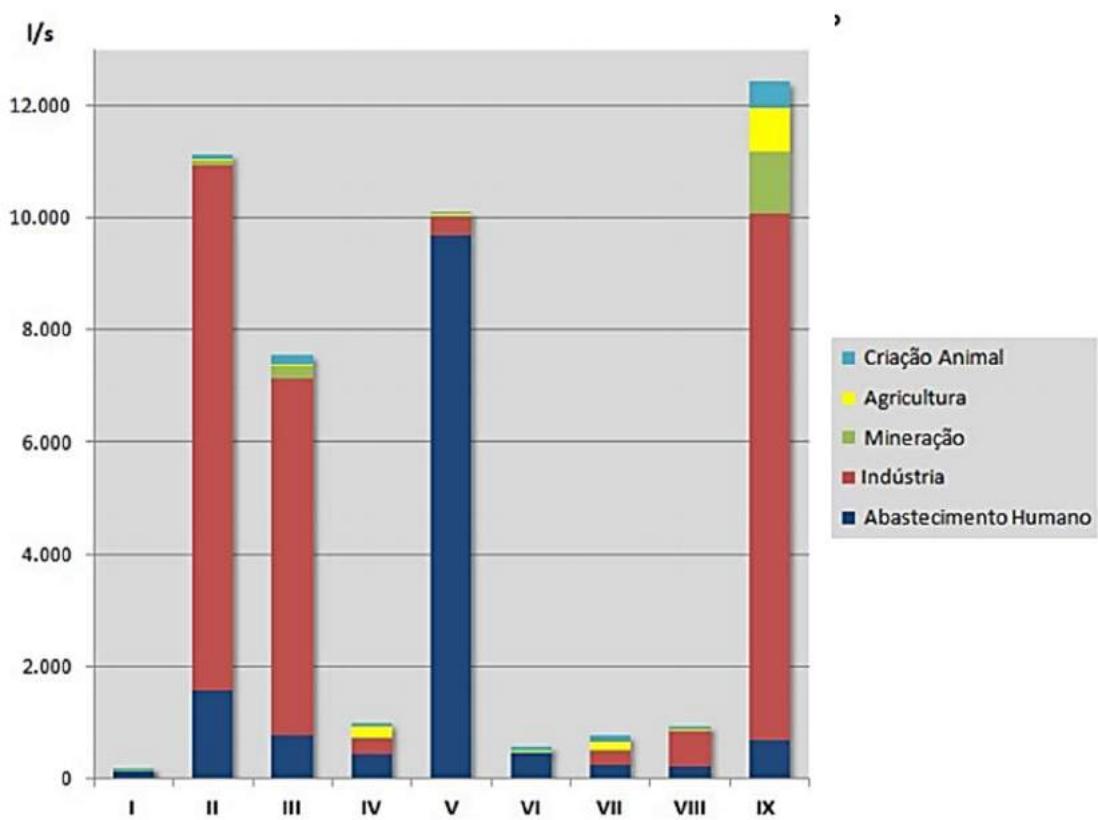


Fonte: PERHI-RJ, 2014.

Pode ser observado que as maiores demandas de água no Estado do Rio de Janeiro são para a indústria e para o abastecimento humano, que juntos respondem por 85% da demanda total.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos, ao caracterizar as demandas setoriais, considerou apenas o uso consuntivo, que é aquele que consome toda ou uma parte da água captada e, portanto, retorna aos corpos hídricos menos água do que retirou. Os valores resultantes do consumo efetivo, isto é, vazão de captação menos vazão de retorno, de cada setor por RH são visualizados no Gráfico 4, onde é possível perceber diferentes perfis de demanda entre as regiões hidrográficas (RH). As maiores demandas são para a indústria e o abastecimento humano, que respondem por mais de 90% da demanda total de uso consuntivo. As regiões II, III e IX concentram as maiores demandas para o setor industrial e a região V apresenta a maior parte da demanda para abastecimento humano.

Gráfico 4- Demanda por região hidrográfica por setor de consumo no Estado do Rio de Janeiro



Fonte: PERHI-RJ, 2014.

#### 1.1.3.3 Eventos críticos

De acordo com Fernandes *et al.* (2015), a disponibilidade de água no Estado do Rio de Janeiro é heterogênea e fortemente influenciada pela diversidade climática e geomorfológica e pelo efeito das intervenções antrópicas na dinâmica natural dos cursos hídricos. Atualmente as florestas cobrem menos de 20% das terras do Estado fluminense e a extrema redução de florestas em algumas bacias tem relação direta com: a redução da disponibilidade hídrica, os problemas de erosão e degradação dos solos e as ocorrências frequentes de deslizamentos e inundações em cidades e zonas rurais.

Nos últimos anos, a região sofreu sucessivas tragédias ocasionadas por chuvas intensas. No ano de 2010 destacam-se: os deslizamentos na Ilha Grande e em

outras áreas do município de Angra dos Reis, no mês de janeiro; uma grande enchente na cidade do Rio de Janeiro, em abril; e os deslizamentos no Morro do Bumba, em Niterói, na mesma época. Em janeiro de 2011 destacaram-se os deslizamentos e inundações na Região Serrana, nos municípios de Nova Friburgo, Petrópolis, Teresópolis, Areal, Sumidouro, São José do Vale do Rio Preto e Bom Jardim. Já em janeiro de 2013 ocorreu uma grande enxurrada em Xerém (INEA, 2016).

Por outro lado, o Estado do Rio de Janeiro, junto da Região Sudeste, vem experimentando um período de estiagem severa, desde 2014, com os piores índices em 85 anos de registro histórico (INEA, 2016). Em 2015 o nível de água dos quatro principais reservatórios que abastecem o Rio de Janeiro atingiu o menor patamar dos últimos 36 anos anteriores. Em 2014 os reservatórios tiveram percentual de 2,6% do volume de útil de água (OHNUMA JR *et al.*, 2015).

A estiagem histórica de 2014 e 2015 na Bacia do Rio Paraíba do Sul vem causando diminuição das vazões dos rios Paraíba do Sul e Guandu e de seus afluentes, de modo que impõem economia no consumo de água bruta, além de ressaltar a importância da racionalização do uso da água (FERNANDES *et al.*, 2015).

Estes dois cenários, de estiagens e de inundações, necessitam de atenção e implementação de soluções para redução dos riscos associados a estes eventos críticos, de forma a garantir uma maior segurança hídrica do Estado do Rio de Janeiro.

## **1.2 Aproveitamento de águas pluviais**

Numerosos são os lugares, inclusive o Brasil, onde o aproveitamento de águas pluviais foi adotado como solução sustentável, inclusive com ganhos ambientais e econômicos, além de mitigar os problemas de escassez e de crises de desabastecimento de água (UNEP, 2002).

Atualmente o aeroporto de Changi, na Singapura, utiliza a água da chuva com fins não potáveis no combate ao incêndio e descarga de bacias sanitárias, com economia para a companhia de cerca de 28 a 33% do total de água usada (UNEP, 2002).

Na Alemanha em Belss-Luedcke-Strasse, zona de edifícios em Berlim, a água de chuva é coletada tanto dos telhados das edificações, com área aproximada de

7000 m<sup>2</sup>, como do escoamento superficial de ruas, estacionamentos e calçadas, com área de aproximadamente 4200 m<sup>2</sup>. Esse volume de água de chuva é direcionado para um reservatório com capacidade de 160 m<sup>3</sup>. A água é tratada e usada para descargas em bacias sanitárias e irrigação de jardins, com economia no consumo de água potável em função da sua substituição pelo uso de águas pluviais (UNEP, 2002).

No Brasil, foi desenvolvido o Programa Cisternas para atender a região do semiárido nordestino, onde a população sofre com a escassez da água. O Programa Cisternas tem por objetivo a promoção do acesso à água para o consumo humano e na produção de alimentos por meio da implementação de tecnologias sociais simples e de baixo custo (BRASIL, 2016). O governo federal já entregou 1,2 milhões de cisternas desde 2003 com capacidade total de armazenamento de 20,1 bilhões de litros que beneficiaram as famílias, além de proporcionar mais segurança alimentar e nutricional, e possibilidade de renda. O programa está sendo ampliado para a região norte do país e para as escolas destas áreas abrangidas (PORTAL BRASIL, 2016).

O estudo de viabilidade econômica realizado para o Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba (IFPB), em Campina Grande-PB, mostra que para a construção de um reservatório de 787 m<sup>3</sup> e as taxas de juros de 8,5% ao ano, o sistema de aproveitamento de água de chuva, para uso não potável, aponta um benefício econômico anual de quase R\$ 40 mil (MARQUES, 2012).

#### **1.2.1 Aproveitamento de águas pluviais em instituições no Estado do Rio de Janeiro**

As edificações já construídas e as que ainda estão em fase de projeto ou construção, devem se preocupar em se adaptar às práticas sustentáveis, com a finalidade de maior racionalização e otimização de uso dos recursos naturais.

Os projetos desenvolvidos atualmente buscam obter diversas certificações. Uma delas é a certificação de práticas sustentáveis *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), concedida pelo *Green Building Council*, onde uma das práticas exigidas é a coleta da água de chuva.

O Museu de Arte do Rio conquistou a primeira certificação internacional LEED na América Latina para museus e realiza o armazenamento de água de chuva para descarga nos vasos sanitários (GBC BRASIL, 2014).

O recém construído Museu do Amanhã, localizado no centro do Rio de Janeiro, em função da certificação LEED possui instalações sustentáveis, inclusive para captação e uso de água de chuva como complemento para irrigação dos jardins, descargas sanitárias e lavagem dos pisos das áreas molhadas (CANDIDA, 2016).

O Museu do Sal, em fase de construção, localizado em São Pedro da Aldeia, contará com captação de água da chuva para abastecimento de dois tanques de água (COSTA, 2015).

#### 1.2.2 Qualidade da água pluvial

A qualidade da água da chuva pode ser afetada por diversos fatores, como: contaminações atmosféricas oriundas devido ao trânsito de veículos nas grandes megalópoles e polos industriais; deposição de folhas ou excrementos fecais de animais encontrados na superfície de captação; e fatores decorrentes de falhas de execução e manutenção dos componentes das instalações hidráulicas prediais do sistema de captação e armazenamento de águas pluviais.

Segundo Tomaz (2009), a qualidade da água de chuva é diferenciada por alguns fatores relacionados à precipitação, como: antes de atingir o solo; após o escoramento sobre o telhado ou área impermeabilizada; armazenamento no reservatório pela deposição de sedimentos no fundo da caixa; e quando a água chega no ponto de consumo.

A Agência Nacional de Águas (ANA, 2005) define as exigências mínimas para o uso da água não-potável em função das diferentes atividades nas edificações (Tabela 3).

Tabela 3 - Exigências mínimas para o uso de água não potável nas edificações (continua)

Atividades	Exigências
Água para irrigação, rega de jardim, lavagem de pisos	Não apresentar mau-cheiro; não conter componentes que agridam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas; não ser abrasiva; não manchar superfícies; não propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.
Água para descarga em bacias sanitárias	Não apresentar mau-cheiro; não ser abrasiva; não manchar superfícies; não deteriorar os metais sanitários; não propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.
Água para refrigeração e sistema de ar condicionado	Não apresentar mau-cheiro; não ser abrasiva; não manchar superfícies; não deteriorar máquinas; não formar incrustações.
Água para lavagem de veículos	Não apresentar mau-cheiro; não ser abrasiva; não manchar superfícies; não conter sais ou substâncias remanescentes após secagem; não propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.
Água para lavagem de roupa	Ser incolor; não ser turva; não apresentar mau-cheiro; ser livre de algas; ser livre de partículas sólidas; ser livre de metais; Não deteriorar os metais sanitários e equipamentos; não propiciar infecções

Tabela 3 - Exigências mínimas para o uso de água não potável nas edificações (conclusão)

Atividades	Exigências
	ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.
Água para uso ornamental	Ser incolor; não ser turva; não apresentar mau-cheiro; não deteriorar os metais sanitários e equipamentos; não propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.
Água para uso em construção civil: na preparação de argamassas, concreto, controle de poeira e compactação de solo	Não apresentar mau-cheiro; não alterar as características de resistência dos materiais; não favorecer o aparecimento de eflorescências de sais; não deve propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

Fonte: ANA, 2015.

A composição da água de chuva da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) sofre influências não apenas antropológicas, mas também de fontes naturais marinhas. Os compostos marinhos encontrados na RMRJ possuem majoritariamente em sua composição íons de sódio, cloro, magnésio, potássio e sulfatos. Já as fontes de aerossóis continentais/antropogênicos possuem íons de sulfatos, cálcio, nitrato e amônio, com variação de pH entre 4,14 e 6,75, o que indica um comportamento ácido da chuva em determinados locais da RMRJ (ALBUQUERQUE, 2006).

A NBR 15527:2007 fornece requisitos para projetos de sistemas de aproveitamento de coberturas em áreas urbanas com propósito de coletar água de chuva para fins não potáveis e recomenda que o projetista defina os parâmetros de qualidade das águas pluviais de acordo com a destinação final desejada. A Tabela 4 apresenta os parâmetros para usos restritivos não potáveis e a frequência do monitoramento. A

norma recomenda ainda a limpeza e desinfecção com hipoclorito de sódio dos reservatórios, no mínimo uma vez por ano.

Tabela 4 – Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 ml
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 ml
Cloro residual livre <sup>a</sup>	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT <sup>b</sup> , para usos menos restritivos <5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH <sup>c</sup>
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

Nota: Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.

<sup>a</sup> No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.

<sup>b</sup> uT é a unidade de turbidez.

<sup>c</sup> uH é a unidade Hazen.

Fonte: ABNT, 2007.

É frequente a contaminação microbiológica da água da chuva por bactérias *Clostridium Sulfito Redutor* e a *Pseudomonas aeruginosa* (MAY, 2004) que são heterotróficas e utilizadas como indicadores de poluição microbiológica. Além disso, podem ser encontrados na água de chuva organismos indicadores fecais, como os patógenos específicos *Salmonella*, *Campylobacter*, *Cryptosporidium* e *Giardia* (HEIJNEN, 2012). Dentre outros sintomas, a ingestão de água contaminada por estes microrganismos causa principalmente gastroenterite e diarreia.

May (2004) afirma que a água da chuva deve ser submetida a um processo de desinfecção, devido à presença de organismos patógenos, como por exemplo, por um

sistema de tratamento simples, com adição de cloro, inclusive para tornar o sistema economicamente viável.

De acordo com ANA (2005), os aspectos condicionantes para a utilização de água da chuva para irrigações de áreas verdes incidem principalmente sobre a saúde pública, a vegetação e o lado estético dos jardins, uma vez que as atividades antrópicas normalmente praticadas nestas áreas não incluir contato primário sendo, portanto, ocasional a freqüência de interação homem-meio. A Tabela 5 apresenta os parâmetros recomendados para análise da qualidade da água no uso em irrigação.

Tabela 5 – Parâmetros básicos de qualidade de água para irrigação de áreas verdes

Parâmetros		Concentrações
Ph		Entre 6,0 e 9,0
Salinidade		0,7 < CE (dS/m) < 3,0, 450 < SDT (mg/L) < 1500
Toxicidade por íons específicos	Para irrigação superficial	Sódio (SAR)
		Cloreto (mg/L)
		Cloro residual (mg/L)
	Para irrigação com aspersores	Sódio (SAR)
		Cloreto (mg/L)
		Cloro residual (mg/L)
Boro (mg/L)	Irrigação de culturas alimentícias	
	Regas de jardim e similares	
Nitrogênio total (mg/L)		5 – 30 mg/L
DBO (mg/L)		< 20 mg/L
Sólidos suspensos totais (mg/L)		< 20 mg/L
Turbidez (UT)		< 5 UT
Cor aparente (UH)		< 30 UH
Coliformes fecais (mL)		≤ 200 / 100 mL

Legenda: CE – condutividade elétrica; SDT – sólidos dissolvidos totais; DBO – demanda bioquímica de oxigênio; SAR – taxa de absorção específica; UH - unidade Hazen; UT – unidade de turbidez.

Fonte: ANA, 2005.

Em países tropicais, algumas espécies de vegetação são mais sensíveis à temperatura ambiente e podem apresentar queimaduras devido a água incidir diretamente sobre as folhas, agravado sobretudo em dias mais quentes. Isto porque o cloro pode acumular-se nos tecidos das plantas e atingir níveis tóxicos. Concentrações de 1 mg/L normalmente não causam problemas, porém algumas culturas mais sensíveis sofrem danos com concentrações de 0,5 mg/L.

Em determinados sistemas em que a água é utilizada no resfriamento de equipamentos de ar condicionado como nas torres de resfriamento, é necessária a realização periódica de tratamento físico químico da água utilizada. A finalidade é proteger os equipamentos contra a corrosão, incrustação, depósitos e desenvolvimento microbiológico. Não existe normatização específica sobre a qualidade da água para os sistemas de refrigeração. Segundo Oliveira (2011), existe uma carência na literatura sobre parâmetros de operação e desempenho dos sistemas de refrigeração e portanto, as atividades de manutenção são baseadas na orientação fornecida pelos fabricantes, não sendo comum o monitoramento de performance ou de eficiência do sistema.

A Tabela 6 indica as variáveis de controle recomendadas para o uso em torres de resfriamento, em função do tipo de operação.

Tabela 6 – Variáveis de qualidade de água recomendadas para uso em torres de resfriamento  
(continua)

Variável	Valor máximo (mg/L)	
	Sem recirculação	Com recirculação
Sílica	50	50
Alumínio		0,1
Ferro	SR	0,5
Manganês		0,5
Amônia		1,0
Sólidos dissolvidos totais		500
Cloreto	600	500
Dureza	850	650
Alcalinidade	500	350
Sólidos em suspensão totais	5000	100

Tabela 6 – Variáveis de qualidade de água recomendadas para o uso em torres de resfriamento (conclusão)

Variável	Valor máximo (mg/L)	
	Sem recirculação	Com recirculação
Ph	5,0 – 8,3	6,8 – 7,2
Coliformes totais (NMP/ 100 ml)	SR	2,2
Bicarbonato	600	24
Sulfato	680	200
Fósforo	SR	1,0
Magnésio	SR	30
O <sub>2</sub> dissolvido	presente	SR
DQO	75	75

Nota: SR – sem recomendação.

Fonte: ANA, 2005.

Os parâmetros de água de reposição necessários para entrada no sistema de refrigeração (Tabela 7) foram obtidos do Catálogo Técnico, Manual de Instalação e Operação para Chiller Condensação a Água, Compressor Parafuso (HITACHI, 2011).

Tabela 7 - Qualidade padrão de água de reposição para sistema de refrigeração

Item	Qualidade padrão da água de resfriamento	Qualidade padrão da água de condensação
	Água de Reposição	
pH (25° C)	6,8 ~ 8,0	6,0 ~ 8,0
Conduтивidade elétrica (mS/m) (25° C)		30 ou menos
Ion de Cloro (mg / l)		50 ou menos
Ion de Sulfato (mg / l)		50 ou menos
Consumo de Ácido (pH4.8) (mg CaCO <sub>3</sub> / l)		50 ou menos
Dureza Total de Cálcio (mg / l)		70 ou menos
Dureza de Cálcio (mg / l)		50 ou menos
Sílica L (mg/l)		30 ou menos
Total Ferro (mg/l)		0,3 ou menos
Total Cobre (mg/l)		0,1 ou menos
Ion Sulfuroso (mg/l)		ND
Ion de Amônia (mg / l)		0,1 ou menos
Cloro Residual (mg / l)		0,3 ou menos
Dióxido de Carbono em suspensão (mg / l)		4,0 ou menos

ND - Não detectável.

Fonte: HITACHI, 2011.

### 1.2.3 Normatização e legislação aplicável

A norma brasileira NBR 15527:2007 aborda o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas como, por exemplo, para descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais (ABNT, 2007).

A norma brasileira NBR 10844:1989 se refere às instalações prediais de água, e fixa às exigências necessárias aos projetos das instalações de drenagem de águas pluviais, com o objetivo de garantir níveis aceitáveis de funcionalidade, segurança, higiene, conforto, durabilidade e economia (ABNT, 1989).

A lei federal nº 9.433 criada em 8 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos com a finalidade de assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997).

O projeto de lei nº 7.818/2014, estabelece a Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua promoção (BRASIL, 2014).

A instrução normativa nº 01, de 19 de janeiro de 2010, dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional. As especificações e demais exigências do projeto básico ou executivo devem ser elaborados para garantir economia da manutenção e operacionalização da edificação. Uma das medidas desta instrução normativa é a redução do consumo de água com o aproveitamento da água da chuva, que agrega ao sistema hidráulico elementos que possibilitem a captação, transporte, armazenamento e seu aproveitamento (BRASIL, 2010).

Fundada em 08 de julho de 1999, em Petrolina-PE, a Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva (ABCMAC) promove ações para o aproveitamento racional e eficiente da água de chuva no Brasil (ABCMAC, 2000).

No estado do Rio de Janeiro, existe o projeto de lei nº 8/2015, criador do Programa de Água da Chuva, cujo objetivo é a captação, armazenamento e utilização das águas pluviais pelas edificações públicas do Estado do Rio de Janeiro.

No município do Rio de Janeiro, o Decreto nº 23.940, de 30 de Janeiro de 2004, torna obrigatória, nos empreendimentos que tenham área impermeabilizada superior a quinhentos metros quadrados, a construção de reservatórios que retardem o escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem (BRASIL,2004).

De forma complementar, ainda no município do Rio de Janeiro, a Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU nº 001 de 27 de janeiro 2005 disciplina os procedimentos a serem observados para o cumprimento do Decreto nº 23.940 de 30 de janeiro de 2004. A resolução incorpora o Decreto, pois torna obrigatório a existência de reservatório de acumulação de águas pluviais para fins não potáveis e, pelo menos um ponto de água destinado a essa finalidade para novas edificações residenciais multifamiliares, industriais comerciais ou mistas, públicas ou privadas que apresentem área do pavimento do telhado igual ou superior a 500 (quinhentos) metros quadrados, e no caso de residenciais multifamiliares com 50 (cinquenta) ou mais unidades (PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, 2005).

Para o município de Niterói, a lei nº 2.630, de 07 de janeiro de 2009, de forma similar, determina que as novas edificações, públicas ou privadas, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m<sup>2</sup> (quinhentos metros quadrados) devem ser dotadas de reservatório de águas pluviais (PREFEITURA MUNICIPAL DE NITERÓI, 2009).

A NBR 16401:2008 dispõe sobre as instalações de ar condicionado para sistemas centrais e unitários, e consideram na fase de projeto os parâmetros de conforto térmico e de qualidade do ar interior.

#### 1.2.4 Previsão de consumo de água em instituições

A água destinada ao consumo humano pode ser usada para fins potáveis ou não potáveis. Em instituições públicas e/ou privadas, o uso potável abrange a higiene pessoal, água para beber e para o preparo de alimentos. Já o uso não potável inclui principalmente lavagem de calçadas, carros, irrigação de jardins, descarga de vasos sanitários e água para sistemas de refrigeração.

Segundo Tomaz (2000), o consumo de água em instalações prediais pode ser do tipo residencial, comercial, industrial e público.

A previsão de consumo de água potável residencial pode ser estimada utilizando-se parâmetros de engenharia, porém devido a falta de pesquisas a respeito destes padrões no país, utilizam-se dados estimados baseados nos parâmetros de outros países que apresentam hábitos semelhantes (TOMAZ, 2000).

Na categoria de consumo público, estão incluídos os edifícios públicos, escolas, parques, cadeias públicas e todos os edifícios municipais, estaduais e federais existentes. Os dados de usos finais de água em prédios do setor público também são escassos no país, o que torna mais difícil o conhecimento dos consumos específicos de água e a localização dos pontos que consomem mais água. Essas informações são de fundamental importância para se saber onde devem ser priorizadas as ações de conservação do uso da água em edificações.

O consumo de água em edifícios públicos, comparado com o consumo residencial, apresenta um perfil diferente já que a maior parte do consumo, aproximadamente 65% do consumo total, é utilizada para fins não potáveis (MAY, 2004). Em residências, a água consumida para fins não potáveis é em média 40% do total, sendo seu maior uso em bacias sanitárias. (PROSAB, 2006).

O uso de água potável nos edifícios públicos pode ser substituído por água pluvial uma vez que a grande demanda por água não potável, aliada com a grande área de captação que estes prédios geralmente dispõem, faz com que estes edifícios sejam propícios a implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

A Tabela 8 apresenta o consumo médio diário para diversos tipos de empreendimentos.

Tabela 8 – Consumo médio diário para diversos tipos de empreendimento (continua)

<b>Usos de água por setor usuário</b>	<b>Consumo (L/dia)</b>
Aeroportos, por passageiros	12
Alojamentos provisórios, por pessoa	80
Bares, por m <sup>2</sup>	40
Camping, por frequentados	70 a 100
Canteiros de Obras, por operário	60 a 100
Centro de convenções, por assento	8
Cinemas, por lugar	2 a 10
Comércio, áreas de, por m <sup>2</sup>	1 a 3
Creches, por criança	60 a 80
Distritos Industriais, por m <sup>2</sup>	4 a 8
Escolas, por aluno (de um turno)	10 a 30
Escritórios, por ocupante efetivo	30 a 50
Escritórios, por m <sup>2</sup>	10
Estabelecimentos comerciais, por m <sup>2</sup>	6 a 10
Estação ferroviária e rodoviária, por passageiro	15 a 40
Hospital, por leito	300 a 600
Hotéis, por hóspede	250 a 500
Igrejas e templos, por frequentador	2
Indústrias, para fins higiênicos, por operário	50 a 70
Irrigação de áreas, por hectare (litros/segundo)	1,0 a 2,0
Irrigação de áreas, por sprinkler (litros/hora)	300
Jardins, rega com mangueira (litros/hora)	300 a 600
Lavagens de pátios e calçadas, por m <sup>2</sup>	1 a 2
Lava rápidos automáticos, de carros, por veículo	250
Lavanderias, por kg de roupa	1 a 2
Lojas, por m <sup>2</sup>	6 a 10
Lanchonete, por assento	4 a 8
Matadouros, por cabeça grande abatida	300
Matadouros, por cabeça pequena abatida	150
Mercados, por m <sup>2</sup>	5 a 10
Motéis, por apartamento	300 a 600
Parques e áreas verdes, por m <sup>2</sup>	2
Piscinas públicas, por usuário	30 a 50
Piscinas públicas, por m <sup>2</sup>	500
Quartéis, por soldado	100 a 200

Tabela 8 – Consumo médio diário para diversos tipos de empreendimento (conclusão)

<b>Usos de água por setor usuário</b>	<b>Consumo (L/dia)</b>
Residência, por dormitório	200 a 400
Restaurantes nas rodovias por assento	75 a 250
Restaurantes urbanos por refeição servida	20 a 30
Restaurantes urbanos por assento	80 a 120
Teatros, por assento	5 a 10
Templos religiosos, por frequentador	2

Fonte: Melo e Netto, 1988 apud Tomaz, 2000.

A Tabela 9 apresenta o consumo específico de água por habitante em diversos locais, segundo dados da SABESP (2016).

Tabela 9 – Consumos de água específicos de natureza institucional

<b>Instituição</b>	<b>Consumo por pessoa</b>
Escolas Estaduais 1º E 2º Grau	25 litros/aluno/dia
Escolas Internato	150 litros/aluno/dia
Escolas Semi-Internato	100 litros/aluno/dia
Prédios Públicos E Comerciais	50 litros/funcionário/dia
Prédios Hospitalares Sem Lavanderia	500 litros/leito/dia
Prédios Hospitalares Com Lavanderia	750 litros/leito/dia
Prédios Com Alojamentos Provisórios/ Cozinha / Lavanderia	120 litros/pessoa/dia
Prédios Públicos – Quartéis / Militares	150 litros/militar/dia
Prédios Penitenciários	200 litros/preso/dia
Restaurantes – Prédios Públicos	25 litros/refeição/dia
Creches – Prédios Públicos	50 litros/pessoa/dia

Fonte: SABESP, 2016.

Kammers (2004) verificou os usos finais de água tratada para a categoria de consumo público em 10 (dez) edifícios do setor público na cidade de Florianópolis, cujo maior consumo de água é procedente de vasos sanitários e mictórios (Tabela 10).

Tabela 10 – Usos finais da água tratada em dez edificações do setor público de Florianópolis  
(continua)

Edificação	Uso final de água (%)				
	Vaso Sanitário	Mictório	Tor-neira	Limpeza	Otros
Badesc – Agência de Fomento do Estado de Santa Catarina	55,8	14,3	18,3	9,0	2,6
CELESC - Centrais Elétricas de Santa Catarina	31,9	32,9	10,1	4,1	21,1
CREA - Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia	23,0	47,0	24,5	2,6	2,9
DETER - Departamento de Transportes e Terminais do Estado de Santa Catarina	66,6	-	31,2	1,8	0,4
EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina	33,1	43,9	12,5	2,8	7,7
Secretaria da Agricultura	27,9	16,4	6,6	5,8	43,3
Secretaria da Educação	70,0	14,3	9,4	2,1	4,2
Secretaria de Segurança Pública	78,8	-	18,4	2,5	0,3
Tribunal de Contas	36,4	45,9	14,0	1,9	1,8
Tribunal de Justiça	53,2	29,9	8,7	4,6	3,6

Fonte: KAMERS, 2004.

A Tabela 11 mostra a estimativa de consumo de água para o serviço público, em diferentes instituições (MACINTYRE, 1982 apud TOMAZ, 2000).

Tabela 11 – Estimativa de consumo diário de água para Serviço Público

<b>Tipo de Prédio</b>	<b>Unidade</b>	<b>Consumo litro/dia</b>
Edifício de Escritórios	Por ocupante efetivo	50 a 80
Escolas, internatos	Per capita	150
Escolas, externatos	Por aluno	50
Escolas, semi-internatos	Por aluno	100
Hospitais e Casas de Saúde	Por leito	250
Hotéis com cozinha e lavanderia	Por hóspede	250 a 350
Hotéis sem cozinha e lavanderia	Por hóspede	120
Lavanderia	Por Kg de roupa seca	30
Quartéis	Por soldado	150
Cavalariças	Por cavalo	100
Restaurantes	Por refeição	25
Mercados	Por m <sup>2</sup> de área	5
Garagens e postos de serviços para automóveis	Por automóvel	100
Rega de jardim	Por m <sup>2</sup> de área	1,5
Cinemas e teatros	Por lugar	2
Igrejas	Por lugar	2
Ambulatórios	Per capita	25
Creches	Per capita	50

Fonte: Macintyre, 1982 apud Tomaz, 2000.

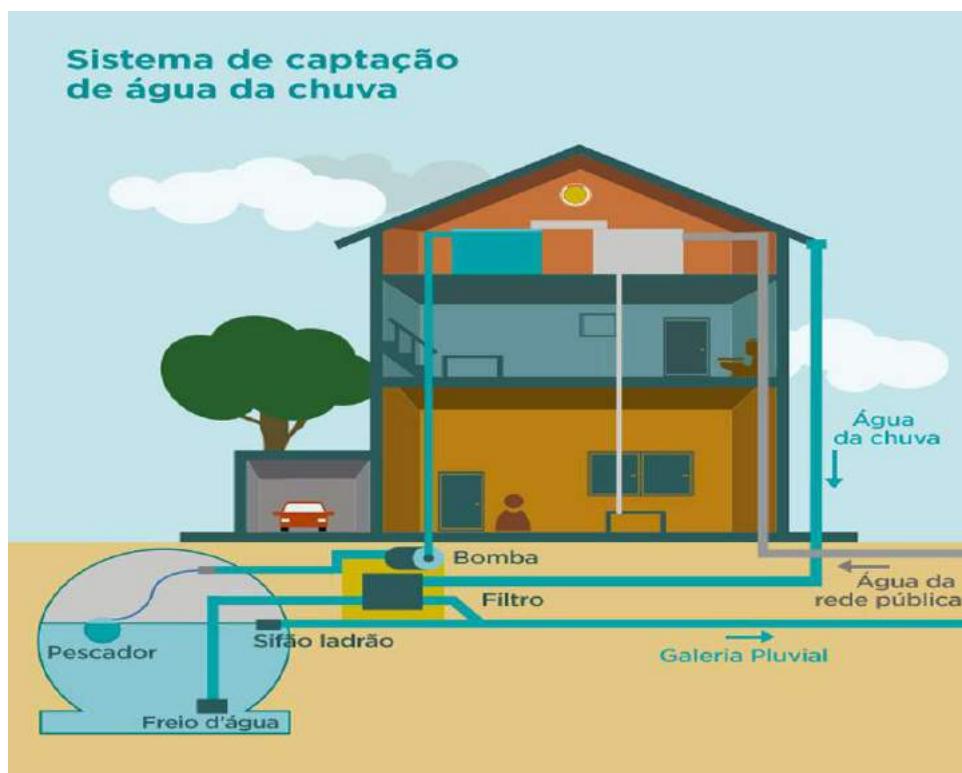
Na Alemanha, país que apresenta uma média de consumo de água muito semelhante ao Brasil, adota-se para a irrigação de jardins o valor de 10 m<sup>3</sup>/ano/100 m<sup>2</sup> (TOMAZ, 2000). Segundo o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PRO-SAB, 2006), a rega de jardins consome um volume na faixa de 2 L/dia/m<sup>2</sup> a uma frequência de 8 a 12 lavagens por mês.

Em instituições onde a climatização dos ambientes é por sistemas de arrefecimento, o consumo de água pelas torres é elevado, cuja função é a remoção de calor, uma vez que ocorrem perdas evaporativas de água que necessitam ser frequentemente repostas (MAGALHÃES, 2013).

#### 1.2.5 Principais componentes do sistema de captação de água pluvial

De acordo com Tomaz (2009) os componentes principais do sistema de captação são: a área de captação, as calhas e condutores, *by pass*, peneira, reservatório e extravasor. A Figura 3 apresenta um sistema simplificado do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

Figura 3 - Esquema simplificado de aproveitamento de águas pluviais



Fonte: INEAM, 2016.

➤ Área de captação

Os telhados das edificações e as áreas impermeáveis, como pátios, podem ser usados como superfícies de captação. A qualidade da água e o volume gerado dependem da dimensão, da declividade e das características do material da área de captação. Ao depender das características do material, podem haver perdas devido a evaporação e absorção. Geralmente, os telhados são as superfícies mais usadas para captação de águas pluviais por possuírem menor circulação de pessoas e assim apresentam melhor qualidade da água fornecida (COHIM *et al*, 2008).

O volume de água de chuva precipitado é diferente do volume que escoa e pode ser aproveitado. O coeficiente de escoamento superficial denominado coeficiente de *runoff*, é a razão entre o volume total de escoamento superficial e o volume total precipitado (TOMAZ, 2009). A Tabela 12 apresenta os coeficientes de escoamento para diferentes tipos de materiais.

Tabela 12 - Coeficientes de *runoff* médios para diferentes materiais

Material	Coeficiente de <i>runoff</i>
Telhas cerâmicas	0,80 a 0,90
Telhas esmaltadas	0,90 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,80 a 0,90
Cimento amianto	0,80 a 0,90
Plástico, PVC	0,90 a 0,95

Fonte: TOMAZ, 2009.

Tomaz (2011) recomenda o valor de coeficiente de *runoff* de 0,80 como o melhor valor para ser adotado.

➤ Calhas e condutores

As calhas e os condutores verticais transportam a água da chuva coletada em direção ao reservatório, com materiais fabricados em PVC ou metálico (alumínio e aço

galvanizado). Toda a tubulação deve estar devidamente sinalizada com a finalidade de evitar ligação cruzada com a rede de água potável (COHIM *et al*, 2008). As superfícies de captação devem estar sempre limpas e desobstruídas, dotadas de dispositivos que protejam e impeçam a contaminação e crescimento bacterianos, pela deposição de folhas ou animais mortos.

➤ Dispositivos de primeira lavagem (*first flush*)

A primeira chuva, conhecida como *first flush*, contém muitas impurezas provenientes dos telhados, como por exemplo, folhas, poeira e fezes de animais, e por este motivo deve ser descartada com a finalidade de se obter uma água de melhor qualidade no reservatório.

Esse descarte pode ser realizado manualmente, através de tubulações que podem ser desviadas do reservatório, ou automaticamente, por meio de dispositivos de auto-limpeza onde não há a necessidade de operação manual (TOMAZ, 2011).

O procedimento de descarte das primeiras chuvas pode ser pelo direcionamento dos primeiros milímetros de chuva para um reservatório de auto-limpeza, situado acima do reservatório de água da chuva e composto por uma bóia de nível. Neste sistema, o reservatório de auto-limpeza recebe á água da chuva após o seu início, e o nível d'água dentro do reservatório sobe até atingir o limite, o que implica no fechamento automático da torneira bóia e no escoamento da água para o reservatório de água da chuva. Após o término da chuva, o reservatório de auto-limpeza deve ser esvaziado pela abertura do registro de descarte da água, e assim retornar então às condições iniciais de operação (MAY, 2004).

O volume de água rejeitado no *first flush* depende do tipo de material do telhado e da quantidade de contaminação, sendo recomendado o descarte de 1 mm de precipitação ou 1 litro/m<sup>2</sup> de área do telhado (TOMAZ, 2011). A NBR 15527 de 2007 recomenda, na falta de dados, o descarte de 2 mm da precipitação inicial.

➤ Peneira

As peneiras são responsáveis por remover materiais em suspensão (TOMAZ, 2009). Além da peneira, outros dispositivos funcionam com o mesmo objetivo, como os protetores de calhas, instalados sobre elas e os filtros normalmente acoplados antes do reservatório, com a finalidade de reter o material grosso e preparar a água para receber tratamento de cloração.

➤ Reservatório

O reservatório pode estar apoiado, elevado ou enterrado e ser fabricado em diversos materiais como o concreto armado, alvenaria de tijolos ou blocos armados, plástico ou poliéster (TOMAZ, 2011). Ainda, é preciso avaliar e considerar certas variáveis, como capacidade, estrutura necessária, viabilidade técnica, custo e disponibilidade local. Além disso, é importante ressaltar que durante a concepção do sistema de aproveitamento de água pluvial deve-se buscar a utilização de reservatórios elevados e o direcionamento da água coletada diretamente os pontos de utilização por gravidade, de modo a aumentar a eficiência energética do sistema (COHIM *et al*, 2008).

Os reservatórios devem possuir extravasor, dispositivo de esgotamento, cobertura, inspeção, ventilação e segurança e estar protegidos contra a incidência direta da luz, calor, bem como vedar a entrada de animais nas instalações. Além disso, devem possuir tubulações e demais componentes diferenciados e independentes das instalações de água potável, para evitar contaminação cruzada, e ainda conter aviso visual nos pontos de utilização, como aviso de água não potável. (NBR 15527:2007).

➤ Extravasor

É necessária a instalação de extravasor no reservatório com dispositivo no tubo que impeça a entrada de pequenos animais (TOMAZ, 2009).

A manutenção do sistema deve seguir, no mínimo, as recomendações da NBR 15527/2007, tais como:

- dispositivo de descarte de detritos: inspeção mensal e limpeza trimestral;
- dispositivo de descarte do escoamento inicial: limpeza mensal;
- calhas, condutores verticais e horizontais: semestral;
- desinfecção com derivado clorado: mensal;
- bombas: mensal;
- reservatório: limpeza e desinfecção anual.

### 1.3 Dimensionamento de reservatório

O volume de água de chuva aproveitável é calculado conforme a NBR 15527:2007 e depende do coeficiente de *runoff* e da eficiência do sistema de descarte do *first flush* (Equação 1):

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

Onde:

$V$  é o volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável, em litros;

$P$  é a precipitação média anual, mensal ou diária, em milímetros;

$A$  é a área de coleta, em metros quadrados;

$C$  é o coeficiente de *runoff*;

$\eta$  é a eficiência do sistema de captação, inclusive o descarte do *first flush*.

A eficiência do *first flush* ou do descarte dos primeiros milímetros de chuva por meio de filtros e telas variam de 0,50 a 0,90 e quando não se têm dados, o valor do produto de  $C$  (coeficiente de *runoff*) pela eficiência  $\eta$  pode ser adotado como 0,80 (TOMAZ, 2011).

Inúmeros métodos de cálculo do dimensionamento do reservatório podem ser adotados como requisitos de projeto, como: Método de Rippl, Método de Azevedo

Netto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês, Método Prático Australiano, Método da Simulação, Método do número de dias consecutivos sem chuva e Método da Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU nº 001 de 2005. Embora não haja definição clara do método a ser utilizado, cabe ao projetista fazer a indicação de alternativas para execução do sistema de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais. A seguir são apresentados sucintamente os métodos mencionados.

### 1.3.1 Método de Rippl

Pela NBR 15527:2007, o volume pelo Método de Rippl é calculado com as Equações (2) e (3):

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (2)$$

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva } (t) \times \text{área de captação} \quad (3)$$

$$V = \sum S(t) , \text{ somente para valores } S(t) > 0$$

$$\text{Sendo que: } \sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$$

Onde:

$S_{(t)}$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t$ ;

$D_{(t)}$  é a demanda ou consumo no tempo  $t$ ;

$Q_{(t)}$  é o volume de chuva aproveitável no tempo  $t$ ;

$C$  é o coeficiente de escoamento superficial;

$V$  é o volume do reservatório.

### 1.3.2 Método de Azevedo Netto

Pela NBR 15527:2007, o volume do reservatório de água pluvial é calculado pela Equação (4).

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (4)$$

Onde:

V é o volume de água no reservatório (L)

P é a precipitação média anual (mm)

A é a área de coleta em projeção de água de chuva em projeção (m<sup>2</sup>)

T é o número de meses de pouca chuva ou secos por ano.

### 1.3.3 Método Prático Alemão

Pela NBR 15527:2007, trata-se de um método empírico, que adota como volume do reservatório o valor mínimo apresentado entre 6% da demanda anual ou 6% da disponibilidade de água de chuva, conforme Equação (5).

$$V_{adotado} = \min(V; D) \times 0,06 \quad (5)$$

Onde:

V é o volume aproveitável de água de chuva anual (l)

D é a demanda anual de água não potável (l)

V<sub>adotado</sub> é o volume de água do reservatório (l)

### 1.3.4 Método Prático Inglês

Pela NBR 15527:2007, o volume do reservatório é calculado de forma empírica pela Equação (6):

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (6)$$

Onde:

V é o volume do reservatório (l)

P é a precipitação média anual (mm)

A é a área de captação em projeção (m<sup>2</sup>)

### 1.3.5 Método Prático Australiano

Pela NBR 15527:2007, o volume de chuva é calculado pela Equação (7):

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (7)$$

Onde:

Q é o volume mensal de água pluvial (l);

A é a área de coleta ( $m^2$ );

C é o coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

P é precipitação média mensal (mm);

I é a interceptação da água que molha as superfícies e as perdas por evaporação, geralmente considera-se 2 mm.

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas pela Equação (8) abaixo onde, para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio até que seja alcançado um valor dentro de um intervalo de confiança de 90% a 99%.

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (8)$$

Onde:

$V_{(t)}$  é o volume de água pluvial que está no reservatório no fim do mês t (l);

$V_{(t-1)}$  é o volume de água pluvial que está no reservatório no início do mês t (l);

$Q_{(t)}$  é o volume mensal produzido de água pluvial t (l);

$D_{(t)}$  é a demanda mensal de água não potável (l).

Quando  $(V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)}) < 0$ , então o  $V_{(t)} = 0$  e o volume do tanque escolhido será T.

A confiança é estimada por meio da Equação (9):

$$Pr = N(r) / N \quad (9)$$

Onde:

Pr é a falha;

$N(r)$  é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é quando  $V_{(t)} = 0$ ;

$N$  é o número de meses considerado, geralmente 12 meses.

Confiança =  $(1 - Pr)$

### 1.3.6 Método da Simulação

Pela NBR 15527:2007, o Método da Simulação não considera a evaporação de água num determinado mês, e aplica-se às Equações (10) e (11) da continuidade a um reservatório finito:

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (10)$$

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação} \quad (11)$$

Sendo:  $0 \leq S_{(t)} \leq V$

Onde:

$S_{(t)}$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t$ ;

$S_{(t-1)}$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t-1$ ;

$Q_{(t)}$  é o volume de chuva no tempo  $t$ ;

$D_{(t)}$  é o consumo ou demanda no tempo  $t$ ;

$V$  é o volume do reservatório fixado;

$C$  é o coeficiente de escoamento superficial.

Note que para este método, duas hipóteses são feitas: o reservatório está vazio no início da contagem do tempo “t” e os dados históricos são representativos para as condições futuras.

### 1.3.7 Método do número de dias consecutivos sem chuva

Este método, segundo GROUP RAINDROPS (2002), identifica o maior intervalo de dias consecutivos sem chuva e a sua taxa de repetição, a partir da observação de registros pluviométricos e tratamento estatístico. Precipitações diárias abaixo de 1 mm devem ser consideradas como dias secos.

O uso de séries históricas de dados de precipitação necessita de ajuste estatístico de distribuição de frequência de Gumbel para um período de recorrência determinado. A determinação dos dias consecutivos secos é mostrada na Equação 12.

$$X = \bar{x} - \sigma \left[ 0,45 + 0,7797 \times \ln \left( \frac{TR}{TR - 1} \right) \right] \quad (12)$$

Onde:

$X$  = dias consecutivos secos da série histórica;

$\bar{x}$  = média dos dias secos consecutivos;

$\sigma$  = desvio padrão da amostra;

TR é o período de retorno em anos.

Além disso, é estimado o volume diário de água pluvial potencialmente consumido na edificação. A determinação do volume mínimo de armazenamento a ser adotado para o reservatório está indicada na Equação (13):

$$V = Cd \times Dsc \quad (13)$$

Onde:

$V$  é o volume do reservatório de água pluvial ( $m^3$ );

$Cd$  é o consumo diário de água pluvial ( $m^3$ );

Dsc é o intervalo de dias consecutivos sem chuvas.

### 1.3.8 Método da Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU nº001 de 27 de janeiro de 2005

De acordo com essa resolução, a capacidade do reservatório de acumulação é calculada com base na Equação 14:

$$V = K \times A_i \times h \quad (14)$$

onde:

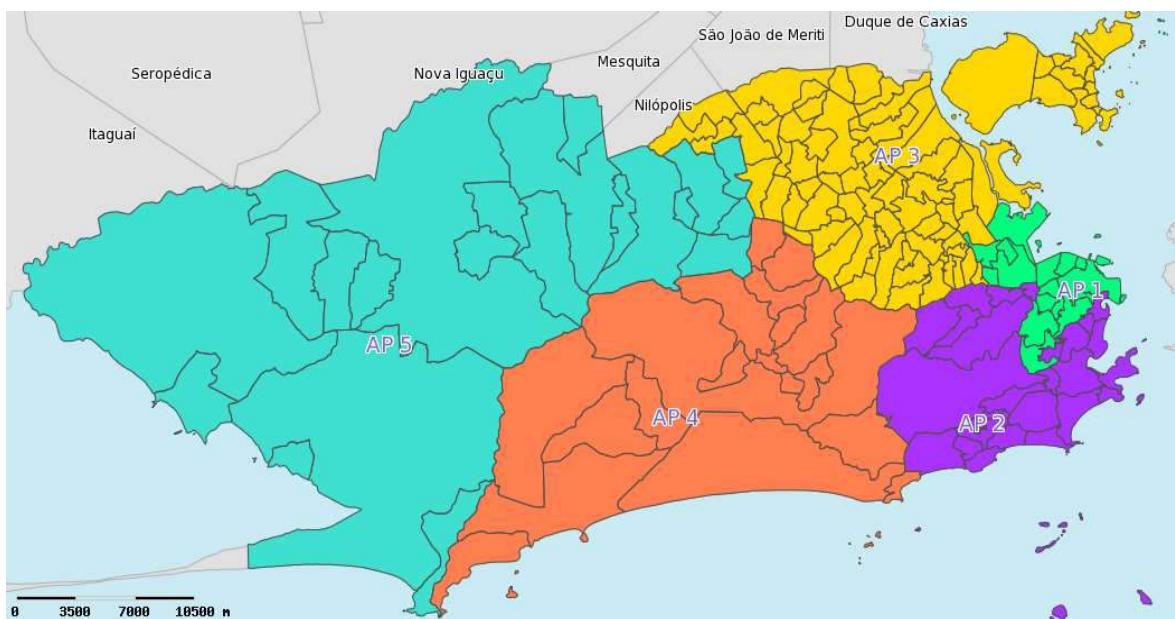
V é o volume do reservatório em  $m^3$ ;

K é o coeficiente de abatimento, correspondente a 0,15;

$A_i$  é a área do telhado ( $m^2$ );

h é a altura de chuva (metro), correspondente a 0,06m nas Áreas de Planejamento 1, 2 e 4 e a 0,07m nas Áreas de Planejamento 3 e 5. As Áreas de Planejamento do município do Rio de Janeiro estão mostradas na Figura 4.

Figura 4 – Áreas de planejamento do município do Rio de Janeiro



Fonte: SMU, 2015.

## 1.5 Análise econômica

Para a realização da análise de viabilidade econômica de um sistema de coleta e aproveitamento de água da chuva, considera-se a implantação, a operação e a manutenção do sistema. De modo a quantificar os gastos totais, são fundamentais também os dados de precipitação, área de coleta, demanda e custo praticado pela concessionária local, como requisitos para se avaliar o potencial de economia de água potável (COSCARELLI, 2010).

A viabilidade econômica pode ser avaliada através de métodos que forneçam respostas numéricas, cujos valores subsidiarão a decisão de implantação ou não do projeto considerado (DIAS, 2007).

O método do *payback* é um deles, onde o período de recuperação ou *payback* é definido pela NBR 14653-4 como o período no qual os resultados líquidos acumulados da operação do empreendimento equivalem ao investimento (ABNT, 2002).

Segundo Bischoff (2013), *payback* é o tempo inicial para que o investimento seja recuperado. O método do *payback* simples consiste na comparação entre o tempo calculado para a recuperação do investimento e o prazo máximo de tempo estabelecido pelo investidor para a recuperação deste, sem levar em consideração o valor do dinheiro no tempo.

De acordo com Cassaroto Filho e Kopittke (2000) “o *payback time* mede o tempo necessário para que o somatório das parcelas anuais seja igual ao investimento inicial”.

A aceitação ou não de um projeto deve ser feita realizando-se a análise do tempo de recuperação do investimento. Se o prazo do *payback* for inferior ao prazo máximo estabelecido, o projeto deverá ser aceito, caso contrário, deverá ser rejeitado.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização da área de estudo

O Centro Cultural Justiça Federal, do Rio de Janeiro, (CCJF-RJ) está localizado na Avenida Rio Branco, 241, Centro, Rio de Janeiro – RJ. O local abriga exposições, espetáculos de dança e música, peças teatrais, cursos, dentre outros, aberto ao público para visitação de terça a domingo das 12h às 19h. A Figura 5 apresenta a localização do CCJF na região metropolitana do Rio de Janeiro.

Figura 5 – Localização do CCJF na região metropolitana do ERJ



Fonte: GOOGLE MAPS, 2016.

De acordo com dados do ATLAS BRASIL (2013), com base no ano de 2010, o município do Rio de Janeiro possui um alto Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,799 e densidade demográfica de 5154,68 hab./ km<sup>2</sup>.

O prédio do CCJF-RJ possui arquitetura eclética e teve sua construção iniciada em 1905 com o propósito de abrigar a Mitra Arquiepiscopal. Em 1960, o Superior Tribunal Federal (STF) ocupou o prédio e após anos de obras de restauração foi aberto ao público como Centro Cultural em abril de 2001.

O prédio histórico ocupa uma área construída de 1,2 km<sup>2</sup> na região da Cinelândia, situada no Centro do município do Rio de Janeiro, cercada por edificações históricas como: a Fundação Biblioteca Nacional, o Theatro Municipal do Rio de Janeiro, o Cine Odeon e a Praça Floriano.

Atualmente o CCJF-RJ possui 4 pavimentos e subsolo, sendo 14 galerias para exposições de arte, 1 cafeteria, 2 salas de leitura, 1 biblioteca, 1 cinema, 1 teatro, 4 gabinetes, 1 secretaria, 2 salões e 1 apoio administrativo. Além dos 110 funcionários, o CCJF-RJ recebe em média 358 visitantes por dia (CCJF, 2016). A Figura 6 mostra a vista aérea do CCJF.

Figura 6 – Vista aérea do CCJF



Fonte: OLIVEIRA, 2010.

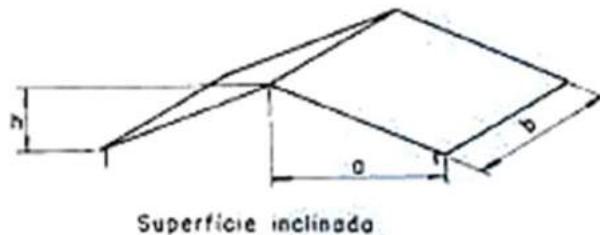
## 2.2 Levantamento de dados

### 2.2.1 Área de contribuição do telhado

A superfície de captação das águas pluviais é a área de telhados da edificação constituída por telha cerâmica colonial e clarabóia de vidro. Para os materiais foi adotado um coeficiente de escoamento superficial ou *runoff* de 0,95. O cálculo de área de contribuição para superfícies inclinadas é dado pela Equação 16 (NBR 10844, 1989) e ilustrado na Figura 7.

$$A = \left( a + \frac{h}{2} \right) x b \quad (15)$$

Figura 7 – Indicações para cálculo de área de contribuição.



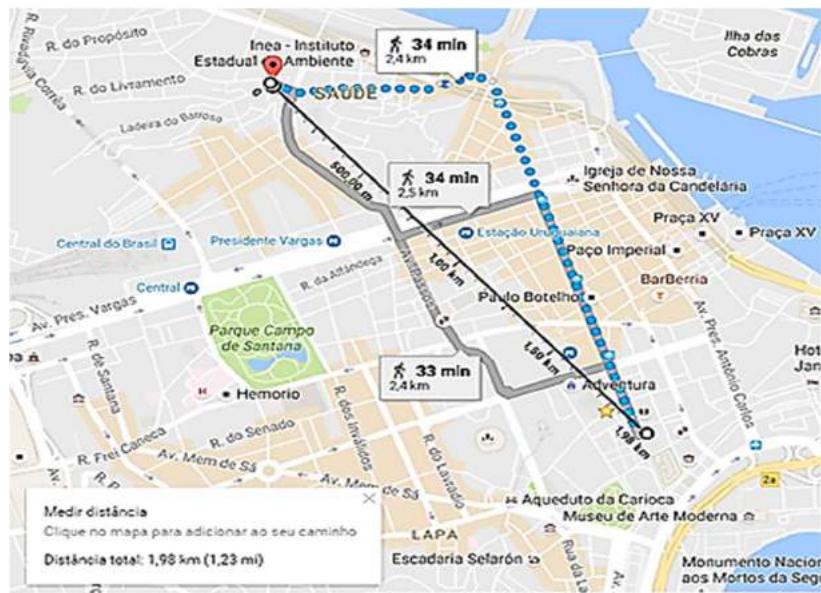
Fonte: ABNT,1989.

As dimensões do telhado, obtidas pela planta de cobertura, são necessárias para o cálculo da área de contribuição.

### 2.2.2 Dados pluviométricos

A série de dados das precipitações pluviométricas foi obtida do Sistema Alerta Rio, da Prefeitura do Rio de Janeiro. A estação Saúde, localizada na Rua Sacadura Cabral, 178, Gamboa, Rio de Janeiro, RJ, foi selecionada por ser a mais próxima do CCJF-RJ, distante 1,98 km do local, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Localização da Estação Pluviométrica Saúde



Fonte: GOOGLE MAPS, 2016.

A região onde está localizado o CCJF pertence ainda a zona pluviométrica da Bacia da Baía de Guanabara, que engloba as áreas do Centro, Zona Norte, Ilha do Governador e Subúrbios da Central e Leopoldina. Esta é uma das áreas de influência das probabilidades de ocorrência de deslizamento ou escorregamento do Sistema Alerta Rio, mostradas na Figura 9.

Figura 9 – Probabilidade de escorregamento

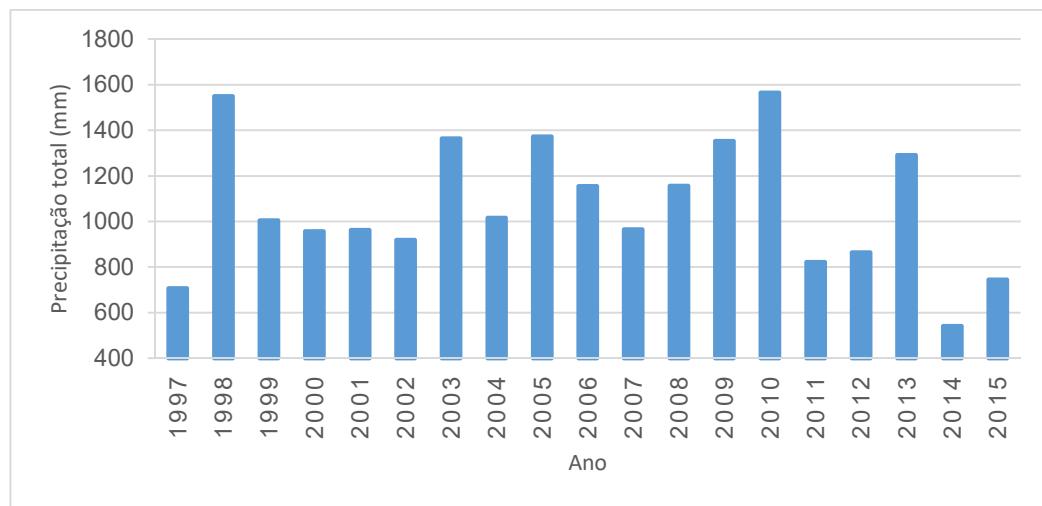


Fonte: ALERTARIO, 2016a.

A Tabela 13 (ANEXO A) apresenta as precipitações médias mensais entre os anos 1997 e 2015 e a precipitação total anual no mesmo período da estação Saúde (ALERTARIO, 2016b).

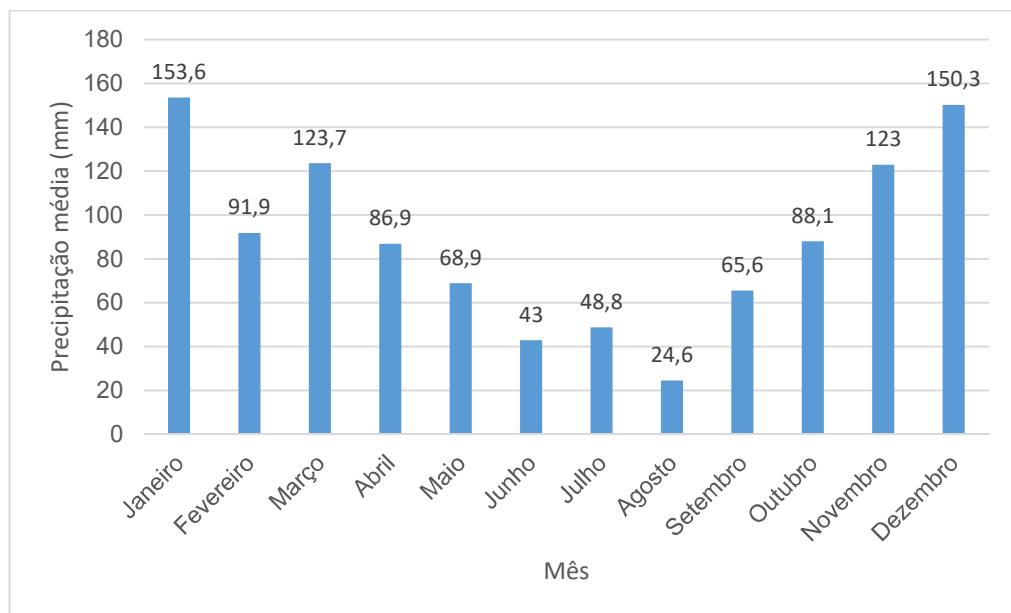
Os Gráficos 5 e 6 apresentam a precipitação total anual e a precipitação média mensal no mesmo período para a estação Saúde.

Gráfico 5 – Precipitação total anual – estação Saúde



Fonte: ALERTARIO, 2016b.

Gráfico 6 – Precipitação média mensal no período de 1997 até 2015 – estação Saúde



Fonte: ALERTARIO, 2016b.

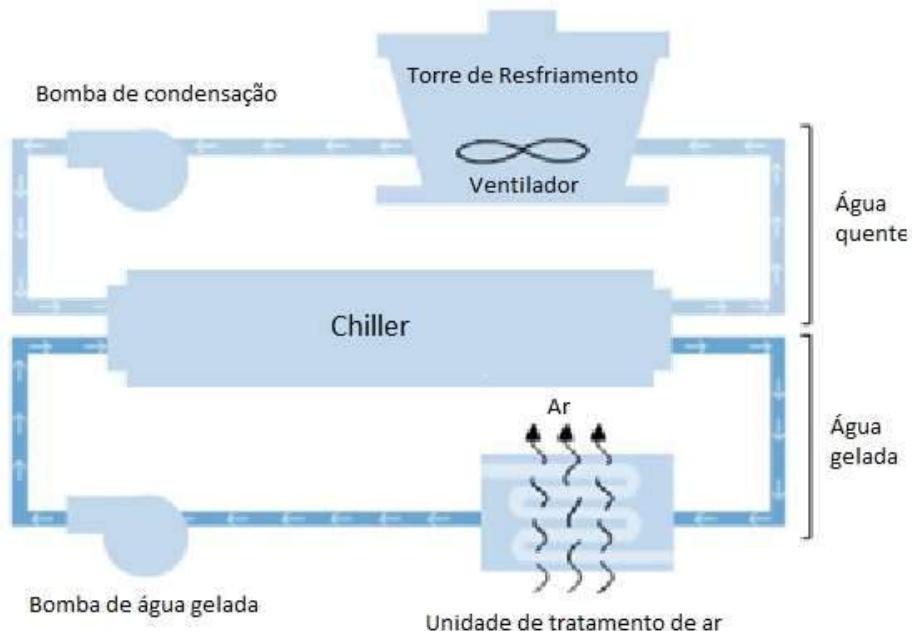
Observa-se na Tabela 13 a precipitação média mensal de 89 mm no período entre 1997 e 2015 e a precipitação média anual no mesmo período de 1069 mm.

Jacob *et al* (2016) apresentou um estudo que determina o número de dias consecutivos sem chuva do município do Rio de Janeiro, a partir da série histórica de precipitação disponível pelo Sistema Alerta Rio. De acordo com o estudo, para a região do CCJF-RJ obteve-se 47 dias consecutivos secos ou sem chuvas num período de retorno de 10 anos.

### 2.2.3 Sistema de refrigeração

O conhecimento do sistema de refrigeração utilizado para climatização dos ambientes internos do CCJF-RJ é fundamental para a estimativa da demanda de água necessária na operação dos equipamentos. A Figura 10 ilustra o funcionamento básico de um sistema de ar condicionado central de expansão indireta, similar ao utilizado no CCJF-RJ.

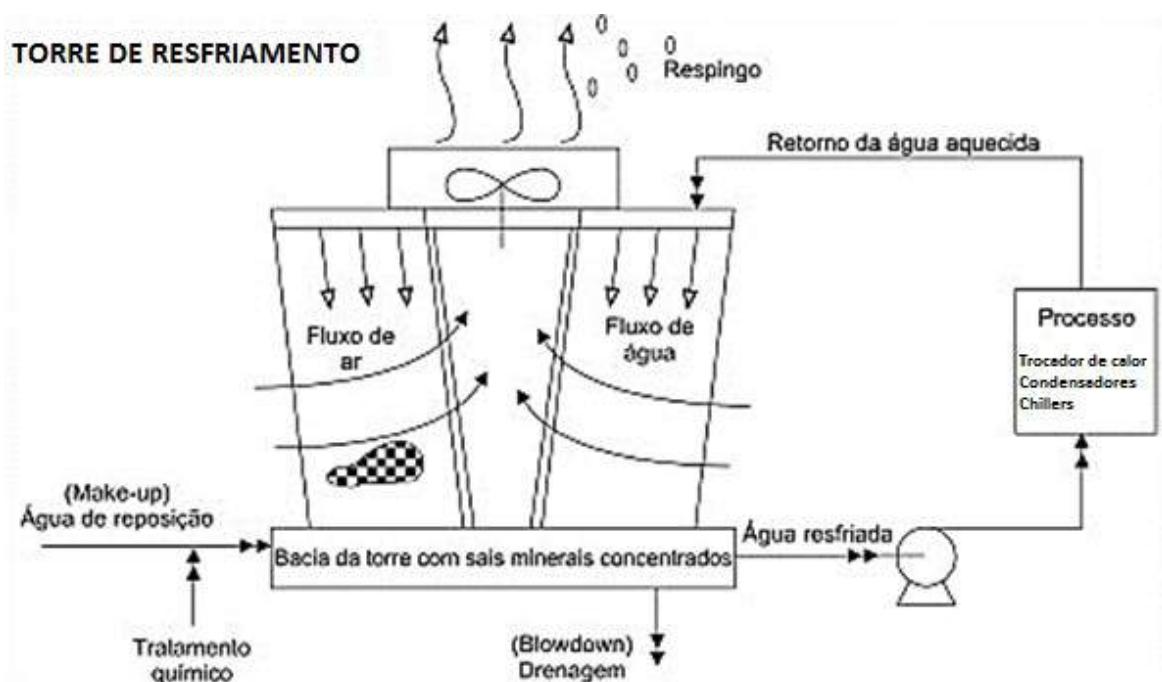
Figura 10 – Funcionamento do sistema de ar condicionado central de expansão Indireta



Fonte: THERMOS REFRIGERAÇÃO, 2016.

O sistema consiste basicamente de um equipamento de refrigeração (*Chiller*) que faz a troca de calor com a água, que é resfriada e bombeada para uma serpentina de um segundo equipamento (*Fan Coil*) onde o ar e a água gelada trocam calor, onde ocorre então o resfriamento do ar e a climatização dos ambientes. A água quente que sai do *Chiller* passa pela torre de resfriamento evaporativo, onde ocorrem as perdas de água que necessitam ser repostas no sistema (Figura 11).

Figura 11 – Torre de resfriamento



Fonte: TERMOPARTS, 2012.

O sistema de climatização do CCJF-RJ é composto por 1 (uma) máquina de ar condicionado central com resfriamento por compressores (*Chiller*), 37 (trinta e sete) unidades intercambiadoras de calor (*Fan Coils*), 1 (uma) torre de arrefecimento, 2 (duas) bombas de água gelada e 2 (duas) bombas de condensação. Esse sistema atende as áreas do térreo, primeiro, segundo e terceiro pavimentos. (ANEXO B, Figura 12).

## 2.2.4 Demanda de água da edificação

De modo a atender as necessidades de uso não-potável de água nas instalações do CCJF-RJ, optou-se por avaliar as principais demandas. No presente estudo, prevê-se que a água de chuva será captada e armazenada para a irrigação de jardins e o abastecimento de parte do sistema de refrigeração do ar condicionado.

O cálculo da demanda total de água da edificação obtida junto à Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE) consiste de avaliação das contas de água no período mensal entre janeiro de 2009 e outubro de 2016 (Tabela 14).

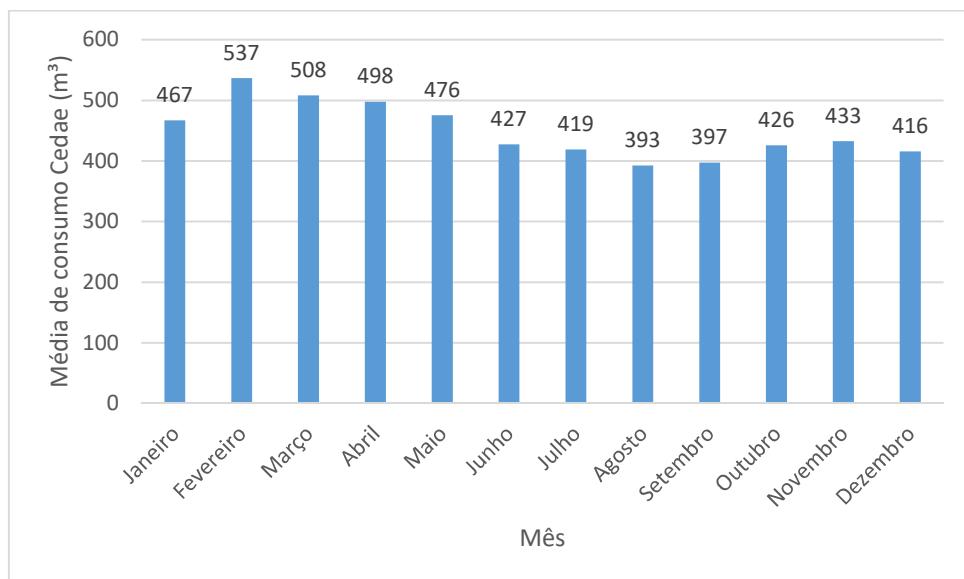
Tabela 14 – Série histórica de consumo de água no CCJF-RJ em m<sup>3</sup>

	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>
Janeiro	713	455	452	348	484	445	375	463
Fevereiro	493	572	544	574	435	626	1554	512
Março	590	479	413	575	495	510	573	431
Abril	454	452	542	579	459	505	516	474
Maio	434	447	399	555	453	428	512	577
Junho	391	416	410	502	364	388	440	507
Julho	492	369	375	484	387	393	424	429
Agosto	346	337	409	420	347	451	438	392
Setembro	370	387	450	404	393	407	388	379
Outubro	415	432	385	438	408	448	405	475
Novembro	496	375	383	424	418	529	405	-
Dezembro	358	395	445	392	517	375	429	-
Total anual	5552	5116	5207	5695	5160	5505	4905	4639

Fonte: CEDAE, 2016

A partir dos dados da Tabela 14, foi elaborado o Gráfico 7 que apresenta as demandas médias mensais no período de janeiro de 2009 a outubro de 2016. Observa-se que o mês de fevereiro de 2015 apresenta um valor de consumo de 1554 m<sup>3</sup>, que é muito superior ao valor das médias mensais. Foi informado pelo CCJF-RJ, que ocorreu um erro na medição nesse mês e que foi solicitada uma análise da fatura pela CEDAE.

Gráfico 7 – Média de consumo médio mensal de água potável



Fonte: CEDAE, 2016.

Atualmente, existem duas cisternas no pavimento térreo para abastecimento do prédio, com capacidade de cerca de 8 m<sup>3</sup> cada, e uma cisterna para abastecimento do sistema de refrigeração, com capacidade de cerca de 30 m<sup>3</sup>. Esta última está localizada ao lado da área de estacionamento (Figura 13).

Figura 13 – Localização da cisterna do sistema de refrigeração – CCJF-RJ

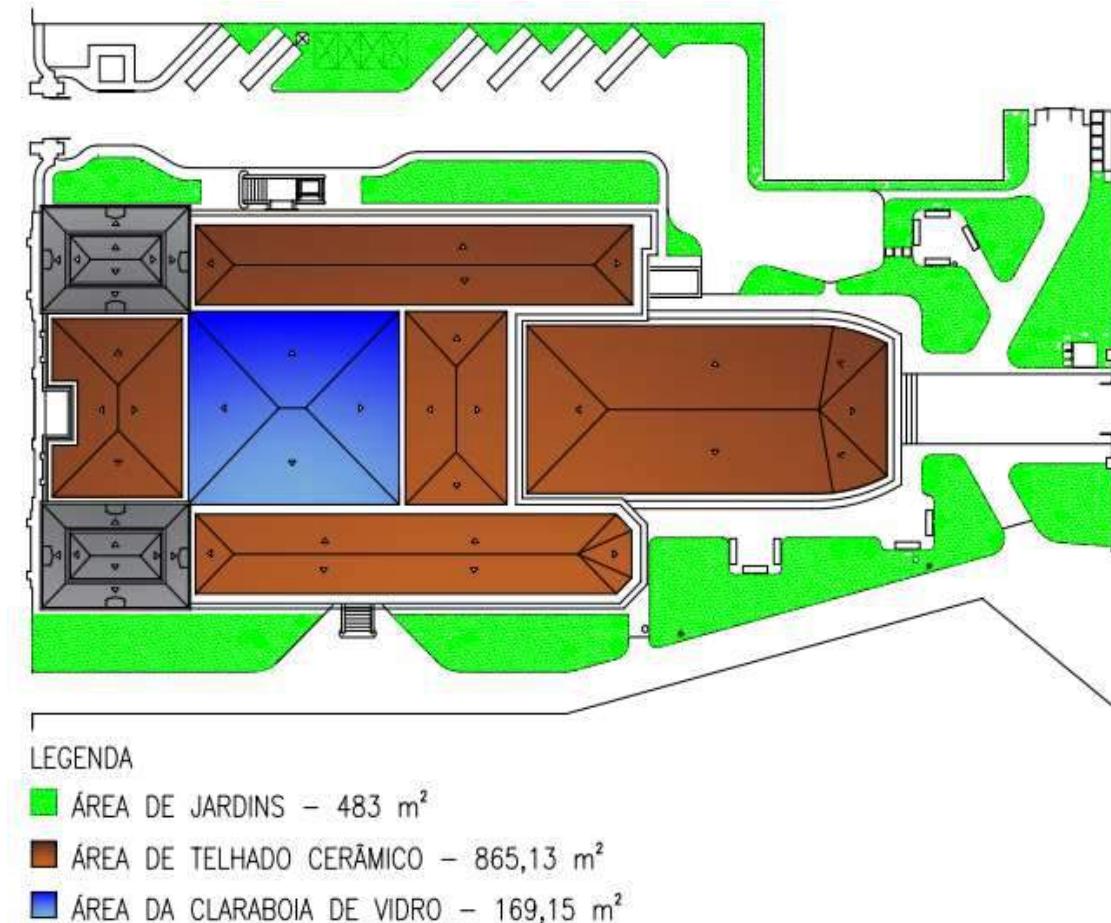


Fonte: O AUTOR, 2016.

A demanda de água para o sistema de refrigeração consiste do volume necessário para repor a quantidade perdida por evaporação na torre de resfriamento. Para se obter o volume de água utilizado pelo sistema de refrigeração optou-se por desagregar o consumo de água do prédio por atividade/serviço. Com a estimativa de consumo por atividade/serviço, obteve-se um indicador de consumo médio que relaciona o volume de água necessária para o funcionamento do sistema de refrigeração com o volume espacial ocupado por ambientes atendidos/refrigerados. Este indicador de demanda de água para sistemas de refrigeração é requisito fundamental na estimativa de volumes de água utilizados em ambientes institucionais, assim como para o cálculo do volume de armazenamento e aproveitamento de águas pluviais, sobretudo por não haver esta demanda disponível na literatura. As áreas e o pé direito dos ambientes, necessários para o cálculo do volume e determinação do indicador, foram obtidos a partir das plantas de arquitetura dos pavimentos.

Na utilização da água da chuva para jardins, ilustrados nas Figuras (ANEXO B, Figuras 14-15), calculou-se a área a ser irrigada com aproximadamente 483 m<sup>2</sup>, obtida a partir da planta baixa do calçamento nas áreas externas do CCJF-RJ (Figura 16). Na estimativa da demanda de água para irrigação, considerou-se o consumo médio diário igual a 2 L/m<sup>2</sup> com uma frequência de 12 regas no mês (PROSAB, 2006). O valor da frequência de irrigação adotado com base na literatura, e compatibilizado com informação obtida da empresa responsável pela irrigação, realizadas 3 regas por semana, podendo atingir 4 regas em semanas muito quentes.

Figura 16 – Planta do calçamento – CCJF-RJ



Fonte: ADAPTADO DE CCJF, 2016.

O número de funcionários que trabalham diariamente na instituição foi fornecido pelo CCJF-RJ e separado entre servidores, estagiários e terceirizados, devido a diferenciação da jornada de trabalho. Os 44 (quarenta e quatro) servidores e estagiários trabalham cinco dias na semana, de segunda-feira a sexta-feira, e os terceirizados trabalham em regime de escala e se revezam para ocupar os 66 (sessenta e seis) postos de trabalho diários. O volume mensal estimado para os dois casos considerada o valor de referência de 50 litros/funcionário/dia constante na Tabela 9 para prédios públicos e comerciais.

A média diária de número de visitantes, também informada pelo CCJF-RJ a partir de controles internos, foi considerada de 2 L/ pessoa/ dia, conforme Macintyre, 1982 apud Tomaz, 2000, indicam para cinemas, teatros e templos.

Na estimativa da demanda de água da cafeteria considerou-se o valor de 25 L/refeição/ dia para restaurantes de prédios público (SABESP, 2016), e 26 dias de trabalho por mês. A média mensal de 1000 refeições servidas foi obtida com o responsável pelo estabelecimento.

## 2.3 Dimensionamento de coleta e armazenamento da água de chuva

### 2.3.1 Dimensionamento do reservatório

O volume do reservatório para o armazenamento da água da chuva coletada é estimado com base na área de contribuição do telhado, na demanda diária de água e nos dados de precipitação da região em estudo.

O volume de água de chuva aproveitável foi calculado com base no recomendado pela NBR 15527:2007. Para o dimensionamento do reservatório, análise e determinação do volume de reservação foram utilizados os 6 (seis) métodos de cálculo constantes na norma (Método de Rippl, Método de Azevedo Netto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês, Método Prático Australiano, Método da Simulação) mais o Método dos dias consecutivos sem chuva e o Método da Resolução Conjunta, apresentados no capítulo 1.3.

### 2.3.2 Volume de descarte de água de limpeza do telhado

O volume do *first flush* é calculado pela relação de 1 litro/m<sup>2</sup> de área do telhado, como descarte do primeiro milímetro de chuva. O descarte inicial funciona como uma forma de limpeza do volume de água de chuva a ser armazenado, pois remove impurezas, tais como: poeiras, detritos e folhas presentes sobre o telhado da edificação.

### 2.3.3 Tratamento de água

Na definição do tratamento da água considera-se o efeito do *first flush* como primeira filtragem do sistema. Para a irrigação de jardins, a água deve passar por um

processo de desinfecção com cloro, com o objetivo de atender a NBR 15527:2007. O valor de cloro residual de acordo com a norma deve estar compreendido entre 0,5 a 3,0 mg/L.

Para a utilização no sistema de refrigeração, os padrões de qualidade da água são menos exigentes que os padrões de potabilidade, uma vez que a prioridade do tratamento é, sobretudo evitar danos aos equipamentos e nas tubulações.

O fator temperatura deve ser analisado com cuidado, pois quando se encontra acima de 40°C, geralmente acelera-se o processo de corrosão nos materiais constituintes do sistema, cuja decomposição pode ser agravada, caso a superfície do ferro ou aço não possua película protetora e mantenha contato diretamente com a água.

A adoção de parâmetros mais conservadores tem o objetivo de proteger os equipamentos do sistema de refrigeração e prolongar sua vida útil, além de atender aos parâmetros mínimos usados para a irrigação de jardins.

## **2.4 Análise econômica simplificada**

Na análise do potencial de economia de água potável gerada com a implantação do sistema de aproveitamento da água de chuva em substituição ao volume de água potável fornecida pela concessionária e utilizada no CCJF-RJ foram considerados:

- ✓ a demanda específica de água para irrigação de jardins e no sistema de refrigeração que pode ser atendida pelo sistema dimensionado;
- ✓ as faturas mensais emitidas pela concessionária nos anos de 2014 e 2015, pois o valor cobrado da tarifa de consumo de água se aproxima da atual e é suficiente para estimar a média de economia.

Entende-se por demanda específica a determinação de volume compatível com os métodos de dimensionamento do reservatório apresentados no capítulo 1.3. Com base nesses dados, obtém-se uma estimativa básica do valor economizado a partir da substituição de água da concessionária por água de chuva para os usos considerados, nos anos analisados em operação do sistema e no serviço de irrigação.

Observa-se pela Tabela 15 que foram gastos um total anual de R\$ 82.262,00 no ano de 2014 e R\$ 103.920,00 no ano de 2015, com média anual de fatura de água potável de R\$ 93.091,00.

Tabela 15 – Consumo e faturamento mensal de água potável no CCJF-RJ

Mês/Ano	2014		2015	
	m <sup>3</sup>	(R\$)	m <sup>3</sup>	(R\$)
Janeiro	445	7.381,32	375	5.687,39
Fevereiro	626	6.328,25	1554	23.955,88
Março	510	8.971,49	573	8.747,34
Abril	505	7.271,78	516	7.883,44
Maio	428	7.219,06	512	8.739,17
Junho	388	6.077,48	440	6.692,05
Julho	393	5.520,72	424	6.742,63
Agosto	451	5.577,41	438	6.960,64
Setembro	407	6.848,03	388	6.807,37
Outubro	448	6.187,47	405	7.106,97
Novembro	529	6.822,75	405	7.091,51
Dezembro	375	8.056,63	429	7.505,47
Somatório	5.505	82.262,39	6.459	103.919,86

Fonte: CEDAE, 2016.

O custo do reservatório de concreto dimensionado pode ser calculado, segundo Tomaz (2009), pela Equação 16, onde  $Cr$  é o custo do reservatório em U\$\$/m<sup>3</sup> e  $V$  é o volume do reservatório em m<sup>3</sup>.

$$Cr = 192 - 0,28 \times V \quad (16)$$

Ainda segundo o autor, os custos dos reservatórios variam de acordo com o material e com a solução escolhida da posição do reservatório e das condições locais,

porém, em média o custo do reservatório é de US\$ 150/m<sup>3</sup> de água reservada. Segundo Ohnuma Jr. (2008), o custo de implantação do sistema pode estimado a partir do valor de US\$ 400/m<sup>3</sup>.

O tempo inicial para que o investimento seja recuperado, ou *payback*, pode então ser calculado a partir das informações de custo para a implantação do sistema e da economia estimada.

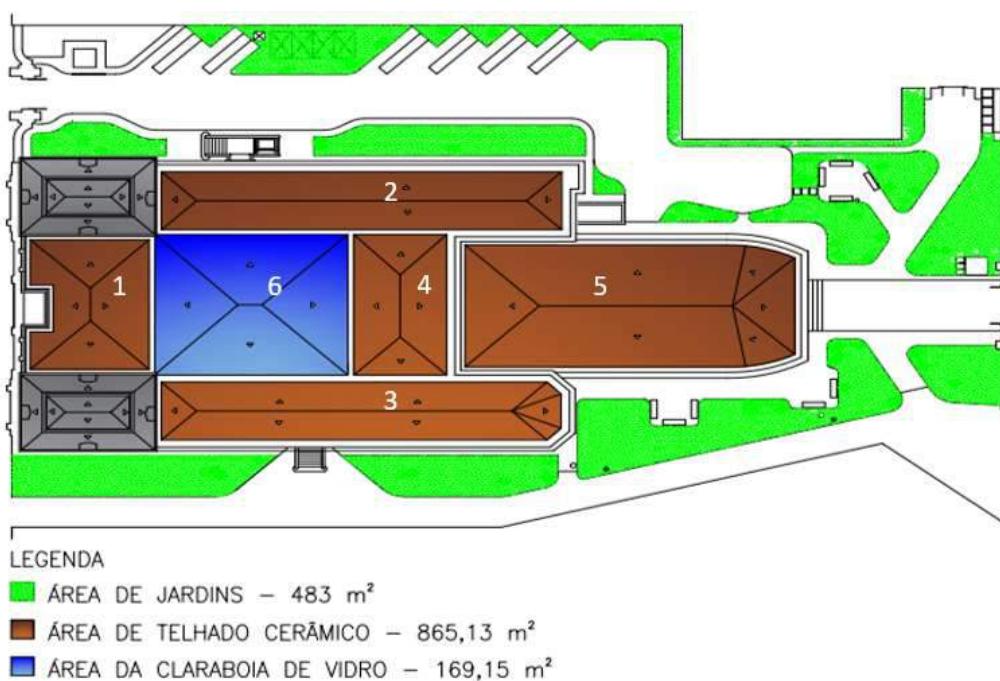
### 3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 3.1 Levantamento de dados

##### 3.1.1 Área de contribuição

A planta de cobertura do telhado está dividida em seis áreas para o cálculo da área de contribuição (Figura 17).

Figura 17 – Área de contribuição da cobertura da edificação do CCJF-RJ



Fonte: ADAPTADO DE CCJF, 2016.

Os telhados de 1 a 5 são constituídos de telha cerâmica colonial e o telhado 6 por uma claraboia de vidro.

A Tabela 16 mostra as dimensões das áreas do telhado utilizadas no cálculo da área de contribuição, com total aproximado de 1034,28 m<sup>2</sup>.

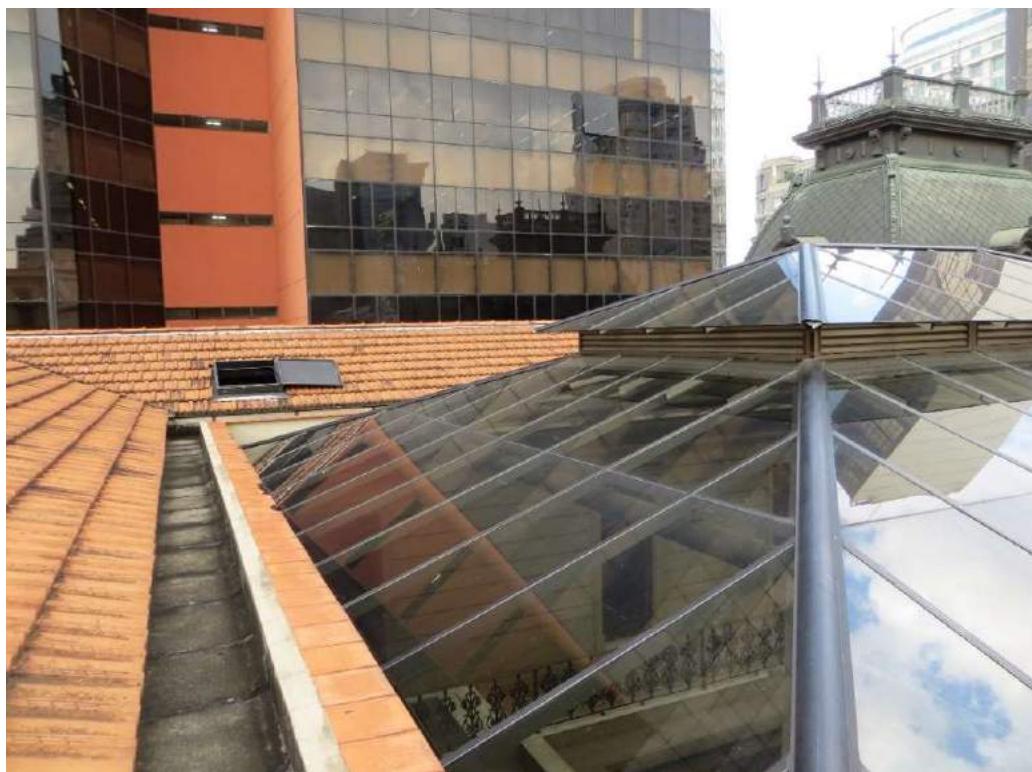
Tabela 16 – Dimensões e área da cobertura do CCJF-RJ

<b>Cobertura</b>	<b>Material</b>	<b>a (m)</b>	<b>b (m)</b>	<b>h (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
1	Cerâmico	3,65	10,85	1,50	95,48
2	Cerâmico	2,21	28,94	1,37	167,56
3	Cerâmico	2,40	27,72	1,37	171,03
4	Cerâmico	3,41	12,94	1,37	105,98
5	Cerâmico	5,42	24,74	2,30	325,08
6	Vidro	11,32	13,73	2,00	169,15
<b>Área de contribuição</b>					<b>1034,28</b>

Fonte: O AUTOR, 2016.

A Figura 18 ilustra os dois tipos de materiais que compõem as áreas de coberturas do telhado do CCJF-RJ, inclusive a canalização por calhas de concreto e inclinação das áreas de captação.

Figura 18 – Materiais componentes do telhado



Fonte: O AUTOR, 2016.

### 3.1.2 Demanda de água da edificação

Obteve-se o consumo de água no CCJF-RJ de forma desagregada por atividade/serviço calculado a partir dos valores de referência indicados anteriormente, das informações levantadas e do valor médio de consumo mensal de água potável. Os cálculos consistem dos volumes mensais estimados para as demandas dos funcionários, visitantes, irrigação e cafeteria. Em seguida, os valores foram subtraídos do valor médio de consumo mensal, e obteve-se o volume mensal estimado para o sistema de refrigeração.

A partir da desagregação do consumo de água (Tabela 17), observa-se que a maior demanda de água na instituição é do sistema de refrigeração. A demanda a ser considerada no desenvolvimento do presente trabalho é a soma das atividades de irrigação de jardins e sistema de refrigeração, cujo valor somado resulta 60,2 % da demanda total de água da instituição. Este percentual aplicado sobre a demanda média mensal de água potável, encontra-se a demanda mensal de água para irrigação de jardins e sistema de refrigeração (água não potável), apresentado na Tabela 18.

Tabela 17 – Consumo desagregado de água estimado por atividade/ serviço

<b>Demanda de água por atividade</b>	<b>Demanda de Referência</b>	<b>Quantidade calculada</b>	<b>Volume médio mensal estimado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Percentual mensal estimado (%)</b>
Funcionários (servidores e estagiários)	50 L/ funcionário/ dia <sup>a</sup>	44 funcionários/ dia	48,4	10,5
Funcionários (terceirizados)	50 L/ funcionário/ dia <sup>a</sup>	66 funcionários/ dia	99,0	19,6
Visitantes	2 L/ lugar/ dia <sup>b</sup>	358 visitantes/ dia	18,6	4,0
Irrigação de jardins	2 L/ m <sup>2</sup> / dia <sup>c</sup>	483 m <sup>2</sup>	11,6	2,5
Cafeteria	25 L/ refeição/ dia <sup>a</sup>	40 refeições/dia	26,0	5,7
Sistema de refrigeração	-	-	256,4	57,7
<b>Média de consumo mensal (m<sup>3</sup>/ mês)</b>			<b>460,0</b>	<b>100 %</b>

<sup>a</sup> SABESP, 2016.

<sup>b</sup> Macintyre, 1982 apud Tomaz, 2000.

<sup>c</sup> PROSAB, 2006.

Fonte: O AUTOR, 2016.

Tabela 18 – Demanda média mensal e diária de água não potável para irrigação e sistema de Refrigeração

Mês	Demandamédia mensal de água potável	Demandamédia mensal de água não potável	Nº de dias do mês	Demandamédia diária de água não potável
	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )		(m <sup>3</sup> )
Janeiro	467	281	31	9,1
Fevereiro	664	400	28	14,3
Março	508	306	31	9,9
Abril	498	300	30	10
Maio	476	286	31	9,2
Junho	427	257	30	8,6
Julho	419	252	31	8,1
Agosto	393	236	31	7,6
Setembro	397	239	30	8
Outubro	426	256	31	8,3
Novembro	433	261	30	8,7
Dezembro	416	250	31	8,1
<b>Somatório/ Média</b>	<b>5523</b>	<b>3325</b>	<b>30</b>	<b>9,1</b>

Fonte: O AUTOR, 2016.

A determinação do indicador de referência de consumo médio mensal do sistema de refrigeração consiste da relação entre o volume mensal de água consumido pela volumetria ocupado pelos ambientes atendidos (Tabela 19).

Tabela 19 – Determinação de volumetria dos ambientes atendidos pelo sistema de refrigeração

<b>Pavimento</b>	<b>Ambientes</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pé direito (m)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
Térreo	Galeria para exposições de arte, cafeteria, salas de leitura, cinema, teatro e circulação	792,34	5,00	3961,70
1º	Galerias para exposições de arte e circulação	890,65	5,10	4542,32
2º	Galerias para exposições de arte, biblioteca, sala de leitura e circulação	681,63	5,31	3619,46
3º	Gabinetes, secretaria, salões e apoio administrativo	502,81	4,40	2212,36
<b>Total</b>		<b>2867,43</b>	-	<b>14335,83</b>

Fonte: O AUTOR, 2016.

A partir da demanda mensal de água de 256,4 m<sup>3</sup> estimada na Tabela 17 para o sistema de refrigeração, e da volumetria total de 14335,83 m<sup>3</sup>, calculado na Tabela 19 correspondentes aos ambientes atendidos pelo sistema de refrigeração, obtém-se como indicador de demanda diária o valor de 0,018 m<sup>3</sup> de água/m<sup>3</sup> de ambiente refrigerado.

### 3.2 Dimensionamento de coleta e armazenamento da água de chuva

#### 3.3.1 Volume de água de chuva aproveitável

O volume de água de chuva aproveitável foi calculado a partir das recomendações da NBR 15527:2007, conforme a Equação 1 apresentada anteriormente:

A Tabela 20 apresenta os valores de volume de água de chuva aproveitável considerando a variação de precipitação ao longo do ano. O volume anual de água de chuva aproveitável é de 884,0 m<sup>3</sup>.

Tabela 20 – Volume de água de chuva aproveitável na região do CCJF-RJ

Mês	Precipitação P (mm)	Área A (m <sup>2</sup> )	C x η	Volume de água de chuva aproveitável V (m <sup>3</sup> )
Janeiro	153,6	1034,3	0,8	127,1
Fevereiro	91,9			76
Março	123,7			102,4
Abril	86,9			71,9
Maio	68,9			57
Junho	43			35,6
Julho	48,8			40,4
Agosto	24,6			20,4
Setembro	65,6			54,3
Outubro	88,1			72,9
Novembro	123			101,8
Dezembro	150,3			124,4
<b>Somatório</b>	<b>1068,4</b>	-	-	<b>884</b>

Fonte: O AUTOR, 2016.

### 3.3.2 Dimensionamento pelo Método de Rippl

Pela NBR 15527:2007, o volume do reservatório pelo Método de Rippl é calculado com as seguintes equações, apresentadas anteriormente:

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)}$$

$$Q_{(t)} = C \times P(t) \times A$$

$$V = \sum S(t) \text{, somente para valores } S_{(t)} > 0$$

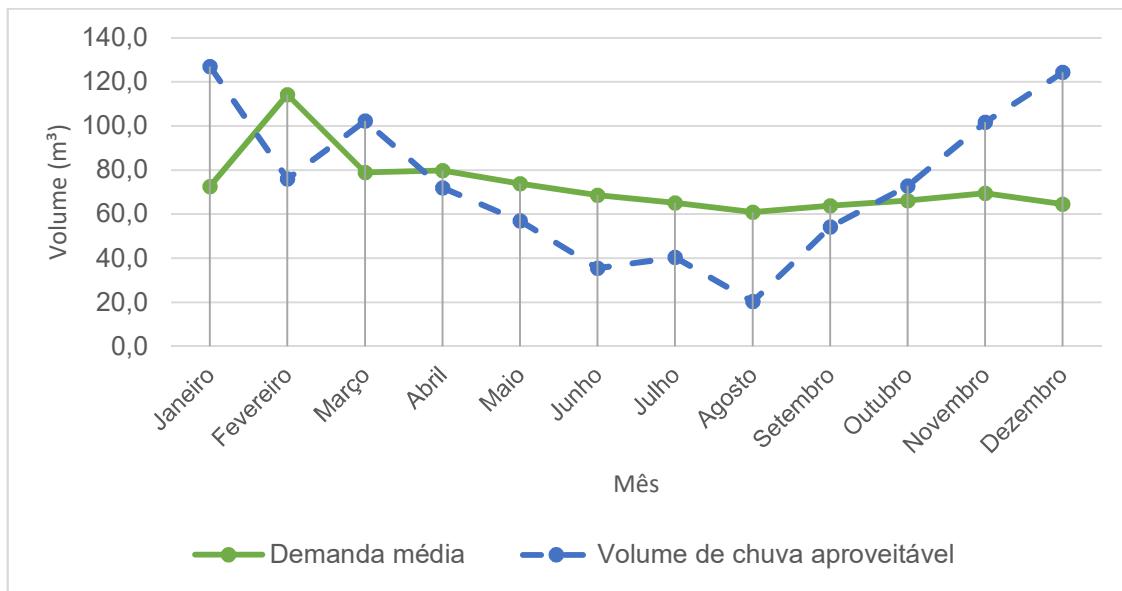
Sendo que:  $\sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$

Como a demanda anual de água não potável é de 3325 m<sup>3</sup> e o volume de água de chuva aproveitável é de 884 m<sup>3</sup>, a condição acima não é atendida se considerado 100% da demanda. Dessa forma, calculou-se o número médio de dias no mês em que a demanda pode ser suprida com o volume de água de chuva, ou seja, um período de

8 dias. Ele é utilizado no cálculo da demanda mensal de água multiplicando-se a demanda diária encontrada na última coluna da Tabela 18 por 8 dias para cada mês.

A demanda mensal média para os 8 dias considerados, e o volume de chuva aproveitável calculado mensalmente é visto no Gráfico 8.

Gráfico 8 – Demanda média de água no CCJF-RJ x volume de chuva aproveitável na região



Fonte: O AUTOR, 2016.

A Tabela 21 mostra a aplicação do método para o cálculo do reservatório, onde são conhecidos a precipitação mensal (P), a demanda mensal para 8 dias (D), a área de contribuição (A) e o volume de chuva aproveitável (Q).

Tabela 21 – Dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl

Mês	Preci- pita- ção - P (mm)	Demand a mensal consid- rando 8 dias – D(t) (m <sup>3</sup> )	Área de capta- ção (m <sup>2</sup> )	Volume de água de chuva aprovei- tável (m <sup>3</sup> )	Volume do re- servató- rio no tempo t – S(t) (m <sup>3</sup> )	Diferença acumu- lada dos valores de S(t) para números positivos – V(t) (m <sup>3</sup> )	Obs.
Janeiro	153,6	72,6	1034,3	127,1	-55	0	E
Fevereiro	91,9	114,2		76	38	38	D
Março	123,7	79		102,4	-23	15	S
Abril	86,9	79,9		71,9	8	23	D
Maio	68,9	73,9		57	17	40	D
Junho	43	68,6		35,6	33	73	D
Julho	48,8	65,1		40,4	25	97	D
Agosto	24,6	61		20,4	41	138	D
Setembro	65,6	63,8		54,3	9	147	D
Outubro	88,1	66,1		72,9	-7	141	S
Novembro	123	69,5		101,8	-32	108	S
Dezembro	150,3	64,6		124,4	-60	49	S
<b>Somatório</b>	<b>1068,4</b>	<b>878,2</b>	-	<b>884</b>	-	-	-

Fonte: O AUTOR, 2016.

A sexta coluna da Tabela 21 indica a diferença entre os volumes da demanda e os volumes de chuva mensais, onde o sinal negativo indica que há excesso de água e o sinal positivo indica que o volume da demanda é maior que o volume de água disponível. A sétima coluna indica as diferenças acumuladas da coluna anterior considerando somente os valores positivos, e a hipótese inicial de o reservatório estar cheio. Os valores negativos não foram computados, pois correspondem a meses em que o volume disponível é maior que a demanda, ou seja, há excesso de água. A última coluna da tabela acima indica se no mês a água está escoando pelo extravasor (E), se o nível de água no reservatório está subindo (S) ou descendo (D).

O maior valor encontrado de 147 m<sup>3</sup> na sétima coluna corresponde a capacidade necessária do reservatório.

### 3.3.3 Dimensionamento pelo Método de Azevedo Netto

Pela NBR 15527:2007, o volume do reservatório de água pluvial é calculado pela Equação 4, conforme mostrado abaixo.

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

$$V = \frac{0,042 \times 1.068,5 \times 1034,3 \times 2}{1000} = 93 \text{ m}^3$$

Os valores de precipitação (P) e área de contribuição (A) são conhecidos, 1068,5 mm e 1034,3 m<sup>2</sup>, respectivamente. Foi adotado para o número de meses de pouca chuva ou seco (T), os números de meses onde a precipitação média no mês é inferior a metade da média mensal de 89 mm calculada anteriormente, ou seja, valores inferiores a 44,5 mm. Este fato ocorre para os meses de junho e agosto e pode ser observado pelo Gráfico 6.

O volume do reservatório pelo Método de Azevedo Netto é de 93 m<sup>3</sup>.

### 3.3.4 Dimensionamento pelo Método Prático Alemão

Pela NBR 15527:2007, o volume do reservatório é o valor mínimo apresentado entre 6% da demanda anual ou 6% da disponibilidade de água de chuva, conforme apresentado anteriormente na Equação 5.

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

Para que posteriormente seja feita uma comparação entre os métodos que consideram a demanda para o dimensionamento do reservatório considera-se a demanda de 8 dias no mês, igualmente ao utilizado no método de Rippl.

Logo, o volume de chuva aproveitado (V), calculado anteriormente é de 884 m<sup>3</sup> e a demanda (D) é de 878,2 m<sup>3</sup>, conforme somatório indicado da terceira coluna da Tabela 21 do método de Rippl.

Portanto, o volume do reservatório pelo Método Prático Alemão é de 53 m<sup>3</sup>, conforme o cálculo indicado abaixo:

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

$$V_{adotado} = 884 \times 0,06 = 53 \text{ m}^3$$

### 3.3.5 Dimensionamento pelo Método Prático Inglês

Pela NBR 15527:2007, o volume do reservatório é calculado de forma empírica pela Equação 6, onde a precipitação média anual (P) é 1068,5 mm e a área de contribuição (A) é de 1034,3 m<sup>2</sup>.

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

$$V = \frac{0,05 \times 1.068,5 \times 1.034,3}{1000} = 55 \text{ m}^3$$

Portanto, o volume do reservatório pelo Método Prático Inglês é de 55 m<sup>3</sup>.

### 3.3.6 Dimensionamento pelo Método Prático Australiano

Pela NBR 15527:2007, o volume de chuva (Q) é calculado pela Equação 7, onde a precipitação média mensal (P) é variável, a área de contribuição (A) com valor igual a 1034,3 m<sup>2</sup>, o coeficiente de *runoff* C igual a 0,95 e a interceptação da água (I) com valor de 2 mm. A sexta coluna da Tabela 22 mostra o volume mensal produzido pela chuva.

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

Tabela 22 – Dimensionamento do reservatório pelo Método Prático Australiano

Mês	Precipitação - P (mm)	Área - A (m <sup>2</sup> )	Runoff - C	Interceptação - I (mm)	Volume de chuva - Q (mm)	Demandada - D (m <sup>3</sup> )	V (t) (m <sup>3</sup> )
Janeiro	153,6	1034,28	0,95	2	149	72,6	76
Fevereiro	91,9				88,3	114,2	51
Março	123,7				119,6	79	91
Abril	86,9				83,4	79,9	95
Maio	68,9				65,7	73,9	87
Junho	43				40,3	68,6	58
Julho	48,8				46	65,1	39
Agosto	24,6				22,2	61	0
Setembro	65,6				62,5	63,8	0
Outubro	88,1				84,6	66,1	18
Novembro	123				118,9	69,5	68
Dezembro	150,3				145,7	64,6	149

Fonte: O AUTOR, 2016.

A demanda D(t) utilizada no cálculo e mostrada na sétima coluna da Tabela 22 é a mesma utilizada no dimensionamento pelo Método de Rippl e pelo Método Prático Alemão.

O cálculo do volume do reservatório V(t) é realizado pela Equação 8 apresentada na última coluna da Tabela 22. Para o primeiro mês do ano, considera-se o reservatório vazio.

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)}$$

Na equação acima, V(t-1) é o volume de água pluvial que se encontra no reservatório no início do mês e Q(t) é o volume mensal produzido de água pluvial, calculado anteriormente.

O mês que apresentou o maior valor para o volume do reservatório foi o mês de dezembro, onde o volume mínimo do reservatório é de 149 m<sup>3</sup>.

Em seguida obteve-se o cálculo da confiança (C) pela Equação 9, onde  $Pr$  é a falha,  $Nr$  é o número de meses em que o reservatório não atendeu a demanda, isto é, quando  $V_t$  é igual a zero, e  $N$  é o número de meses considerados, ou seja, 12 meses.

$$C = (1 - Pr), \text{ onde: } Pr = \frac{Nr}{N}$$

$$C = (1 - \frac{2}{12}) = 0,83 = 83\%$$

O valor da confiança encontrado foi de 83%, porém, é recomendado que este valor esteja entre 90 e 99%

### 3.3.7 Dimensionamento pelo Método da Simulação

Pela NBR 15527:2007, no Método da Simulação aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito para um determinado mês, conforme a Equação 10.

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)}$$

Sendo:  $0 \leq S_{(t)} \leq V$

Onde:

$S_{(t)}$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t$ ;

$S_{(t-1)}$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t-1$ ;

$Q_{(t)}$  é o volume de chuva no tempo  $t$ ;

$D_{(t)}$  é o consumo ou demanda no tempo  $t$ ;

$V$  é o volume do reservatório fixado;

A evaporação de água não é considerada no método, e o volume de chuva  $Q(t)$  é calculado pela Equação 11, onde o coeficiente considerado (C) é 0,80 e a precipitação da chuva (P) e a área de captação (A) são conhecidas.

$$Q_{(t)} = C + P(t) - A$$

De acordo com a NBR 15527:2007, consideram-se duas hipóteses para este método: o reservatório está vazio no início da contagem do tempo “t” e os dados históricos são representativos para as condições futuras.

O cálculo de  $S(t)$  é mostrado na sétima coluna da Tabela 23, onde a demanda mensal  $D(t)$  é a mesma utilizada nos métodos anteriores, e o volume de água no mês anterior ( $S_{(t-1)}$ ) está indicado na sexta coluna. Para atender a condição onde o volume mensal de água no reservatório deve ser menor ou igual ao volume fixado para o reservatório, observa-se que este valor fixado deve maior ou igual a  $99 \text{ m}^3$ . Desta forma, fixou-se o valor de  $100 \text{ m}^3$  para o reservatório, e calculou-se na nona coluna o *overflow* ( $Ov$ ), ou seja, o volume de água de chuva que extravasa no reservatório. O suprimento de água mensal ( $S$ ) necessário do abastecimento público está indicado na última coluna.

Observa-se pela Tabela 23 que durante o ano não há *overflow* sendo necessário  $83 \text{ m}^3$  de água da concessionária. Foi verificado que para valores do reservatório fixados acima de  $100 \text{ m}^3$ , o volume mensal de água no reservatório não se altera, ou seja, a eficiência não muda. Para valores inferiores a  $100 \text{ m}^3$ , o volume do reservatório  $S(t)$  permanece o mesmo, porém a coluna de *overflow* sofre alteração. Quanto menor o valor fixado para o reservatório, maior é a quantidade de água que extravasa do reservatório.

Tabela 23 – Dimensionamento do reservatório pelo Método da Simulação

Mês	P (mm)	D (t) (m³)	A (m²)	Q (t) (m³)	V (m³)	S <sub>(t-1)</sub> (mm)	S(t) (m³)	Ov (m³)	S (m³)
Janeiro	153,6	72,6	1034,28	127,1	100	0	55	0	0
Fevereiro	91,9	114,2	1034,28	76	100	54,5	16	0	0
Março	123,7	79	1034,28	102,4	100	16,4	40	0	0
Abril	86,9	79,9	1034,28	71,9	100	39,8	32	0	0
Maio	68,9	73,9	1034,28	57	100	31,8	15	0	0
Junho	43	68,6	1034,28	35,6	100	14,9	-18	0	18
Julho	48,8	65,1	1034,28	40,4	100	0	-25	0	25
Agosto	24,6	61	1034,28	20,4	100	0	-41	0	41
Setembro	65,6	63,8	1034,28	54,3	100	0	-9	0	9
Outubro	88,1	66,1	1034,28	72,9	100	0	7	0	0
Novembro	123	69,5	1034,28	101,8	100	6,8	39	0	0
Dezembro	150,3	64,6	1034,28	124,4	100	39	99	0	0

Fonte: O AUTOR, 2016.

Após a construção da tabela anterior, foi calculada a eficiência do reservatório de 100 m<sup>3</sup> de volume, e encontrado o valor de 67% de eficiência.

### 3.3.8 Dimensionamento pelo Método do número de dias consecutivos sem chuva

A partir do estudo de Jacob *et al* (2016), para a região do CCJF-RJ obteve-se 47 dias consecutivos secos (Dcs) num período de retorno de 10 anos.

A determinação do volume mínimo de armazenamento (V) a ser adotado para o reservatório está indicada na Equação 13. O volume médio de água pluvial demandado diariamente na edificação (Cd) foi considerado inicialmente para atender a demanda de todos os dias do mês.

$$V = Cd \times Dsc$$

$$V = 9,1 \times 47 = 427,7 \text{ m}^3$$

Em seguida, foi calculado o volume do reservatório para atender a uma demanda de 8 dias no mês, a fim de comparação com os demais métodos. O volume de 427,7 m<sup>3</sup> encontrado foi multiplicado por 96 dias, 8 dias no mês multiplicados por 12 meses, e dividido por 365 dias do ano, encontrando-se portanto para o volume do reservatório o valor de 112,5 m<sup>3</sup> para atender a demanda de 8 dias e o período de estiagem na região.

### 3.3.9 Dimensionamento pelo Método da Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU nº001 de 27 de janeiro de 2005

De acordo com a Resolução, a capacidade do reservatório de acumulação deverá ser calculada com base na Equação 14, onde K é o coeficiente de abatimento, igual a 0,15, A<sub>i</sub> é a área de contribuição do telhado, conhecida, e h é a altura de chuva, correspondente a 0,06m na Área de Planejamento 1.

$$V = K \times A_i \times h$$

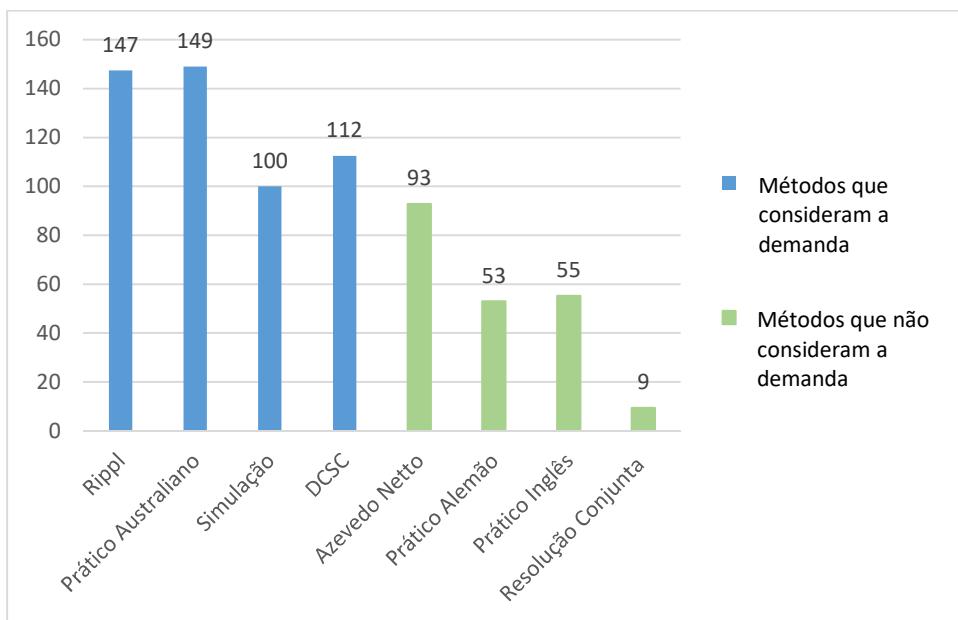
$$V = 0,15 \times 1034,28 \times 0,06 = 9 \text{ m}^3$$

Portanto, o volume do reservatório calculado por este método é de 9 m<sup>3</sup>.

### 3.3.10 Comparação dos métodos de dimensionamento do reservatório

Os resultados obtidos nos cálculos do volume do reservatório foram separados, para fins de comparação de valores, entre os métodos que levam em consideração a demanda (Rippl, Prático Australiano, Simulação e DCSC) e os métodos que não consideram a demanda, apenas informações de precipitação e área de contribuição como do Azevedo Netto, Prático Alemão, Prático Inglês e Resolução Conjunta (GRÁFICO 9).

Gráfico 9 – Volumes calculados do reservatório



Fonte: O AUTOR, 2016.

Pelo Gráfico 9 observa-se que os métodos que consideram a demanda apresentam um valor superior aos outros métodos, e uma média de 127 m<sup>3</sup> para o volume do reservatório.

O método de Rippl obteve o segundo maior valor de reservatório. Segundo Tomaz (2011), este método geralmente superdimensiona o reservatório, mas é bom para verificar o limite superior do reservatório. Durante sete meses a demanda supera o valor de água de chuva disponível no reservatório, que passa a maior parte do ano com o nível de água em recessão, o que não configura um bom resultado.

Para o Método Prático Australiano obteve-se o maior valor para o reservatório. Apenas nos meses de agosto e setembro a demanda não é atendida, o que gera uma confiança de 83%, abaixo da faixa recomendada.

O Método da Simulação verificado para o volume fixado de 100 m<sup>3</sup> obteve uma eficiência de 67%, onde para os meses de junho a setembro, é necessário o suprimento externo de água, no total de 93 m<sup>3</sup>, pois a demanda não é atendida.

Pelo Método dos dias consecutivos sem chuva, foi encontrado o terceiro maior volume de reservatório.

Para os métodos que não consideram a demanda de água obteve-se o valor médio de 53 m<sup>3</sup> para o reservatório.

Para a definição do volume do reservatório levou-se em consideração prioritariamente a disponibilidade de área no local, inclusive as restrições por se tratar de um prédio tombado. Para que o sistema seja viável foi considerado o valor de 80 m<sup>3</sup> que é superior ao volume da cisterna existente de 30 m<sup>3</sup> no CCJF-RJ, utilizada para atender a demanda do sistema de refrigeração. Como a demanda de jardins representa apenas 2,5% da demanda de água não potável, esta também pode ser atendida com o reservatório de 80 m<sup>3</sup>. Este valor escolhido supera a média encontrada para os métodos que não consideram a demanda. Um reservatório superior a este valor é demasiadamente grande e de difícil instalação pois interditaria uma área maior para a sua construção. Ao se considerar um reservatório de 80 m<sup>3</sup>, este pode ser alocado na área de estacionamento, próximo da cisterna já existente, dos jardins e do sistema de refrigeração a ser abastecido.

A Tabela 25 mostra os valores calculados, a partir do Método da Simulação, adotado como base para a análise do comportamento do reservatório ao final de cada mês, para o valor adotado de 80 m<sup>3</sup>.

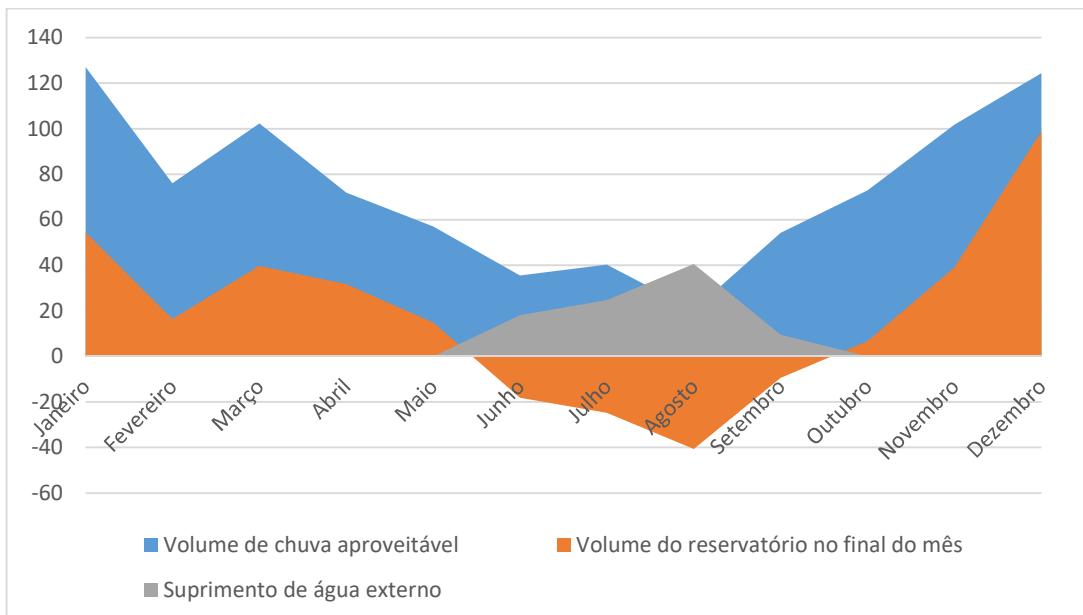
Para o reservatório de 80 m<sup>3</sup> considerado é necessário um suprimento de água externo da CEDAE de 93 m<sup>3</sup>, nos meses de junho a setembro. No mês de dezembro ocorre um extravasamento de 19 m<sup>3</sup> do reservatório, que deve ser enviado para a galeria de águas pluviais. Este comportamento do reservatório está ilustrado no Gráfico 10.

Tabela 24 – Comportamento do reservatório adotado pelo Método da Simulação

Mês	P (mm)	D (t) (m <sup>3</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	Q (t) (m <sup>3</sup> )	V (m <sup>3</sup> )	S <sub>(t-1)</sub> (mm)	S(t) (m <sup>3</sup> )	Ov (m <sup>3</sup> )	S (m <sup>3</sup> )
Janeiro	153,6	72,6	1034,28	127,1	80	0	55	0	0
Fevereiro	91,9	114,2		76	80	54,5	16	0	0
Março	123,7	79		102,4	80	16,4	40	0	0
Abril	86,9	79,9		71,9	80	39,8	32	0	0
Maio	68,9	73,9		57	80	31,8	15	0	0
Junho	43	68,6		35,6	80	14,9	-18	0	18
Julho	48,8	65,1		40,4	80	0	-25	0	25
Agosto	24,6	61		20,4	80	0	-41	0	41
Setembro	65,6	63,8		54,3	80	0	-9	0	9
Outubro	88,1	66,1		72,9	80	0	7	0	0
Novembro	123	69,5		101,8	80	6,8	39	0	0
Dezembro	150,3	64,6		124,4	80	39	99	19	0

Fonte: O AUTOR, 2016.

Gráfico 10 – Comportamento do reservatório adotado



Fonte: O AUTOR, 2016.

### 3.3.11 Volume de descarte da água de limpeza do telhado

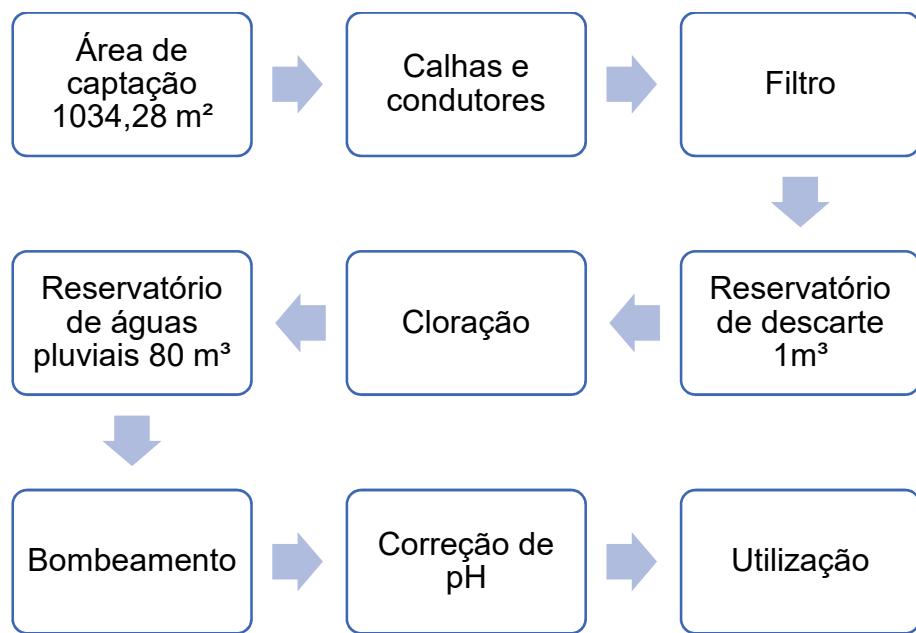
O volume do *first flush* calculado a partir da recomendação na literatura de 1 litro/m<sup>2</sup> de área do telhado, obteve-se para uma área total de cobertura igual a 1.034,3 m<sup>2</sup>, o descartede 1.034 litros ou cerca de 1 m<sup>3</sup>. Portanto, o volume do reservatório de descarte é de 1 m<sup>3</sup> e as dimensões são indicadas de acordo com o tamanho do reservatório de águas pluviais, uma vez que o reservatório de descarte está localizado acima do sistema de armazenamento principal.

Para o procedimento de descarte das primeiras chuvas, portanto, os primeiros milímetros de chuva são direcionados para o reservatório de auto-limpeza ou descarte, situado acima do reservatório de água da chuva. Este reservatório é composto por uma bóia de nível, onde, ao receber a primeira chuva, o nível d'água dentro do reservatório sobe até atingir o limite desejado, que implica no fechamento automático da torneira bóia. A água passa então a escoar para o reservatório dimensionado de água pluvial.

### 3.3.12 Tratamento da água

O tratamento da água recomendado é realizado inicialmente pelo *first flush* com o descarte inicial de 1 m<sup>3</sup>, sobretudo dos eventos posteriores aos períodos de estiagens. O tratamento segue o fluxograma da Figura 19 que tem por finalidade reduzir a turbidez, controlar o pH e garantir a desinfecção da água captada de chuva de modo atender às finalidades de uso no sistema de refrigeração e na irrigação dos jardins.

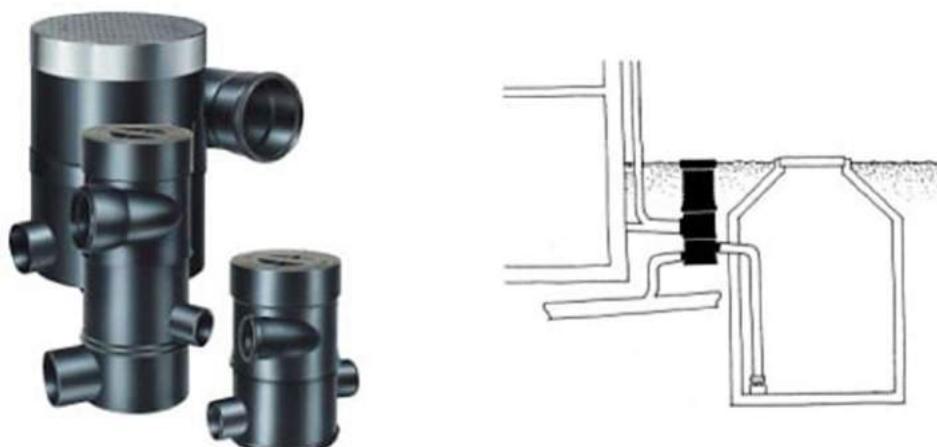
Figura 19 – Fluxograma de tratamento de água de chuva



Fonte: PROPRIO AUTOR, 2016.

Os filtros tipo Vortex (Figura 20) são recomendados para instalação no ponto de união da tubulação que drena a água de chuva de diversos condutores verticais, cuja função é separar a água de chuva das impurezas como folhas, galhos, insetos e musgo e filtrar partículas de até 0,28 mm.

Figura 20 – Filtro tipo Vortex proposto no sistema de tratamento de águas pluviais no CCJF-RJ



Fonte: AQUASTOCK. Disponível em: < [http://aquastock.com.br/port/~filtros-vortex-wff->](http://aquastock.com.br/port/~filtros-vortex-wff-). Acesso em: 12 nov. 2016.

A unidade de cloração indicada no sistema de tratamento é composto por um conjunto de bomba dosadora, tanque de alimentação e acessórios.

A unidade de controle de pH é constituído por bomba dosadora, tanque de alimentação, controlador, sonda de pH e acessórios.

É recomendando a adoção dos parâmetros para tratamento do Catálogo Técnico, Manual de Instalação e Operação para Chiller Condensação a Água, Compressor Parafuso, do fabricante HITACHI (2011), pois apresentam valores mais conservadores que são capazes de atender ambas as atividades propostas.

É recomendada, ainda, a aplicação de inibidor de corrosão e tratamento de desaeração, para proteger os equipamentos do sistema de refrigeração.

### **3.3 Seleção do local de implantação do reservatório e suas dimensões**

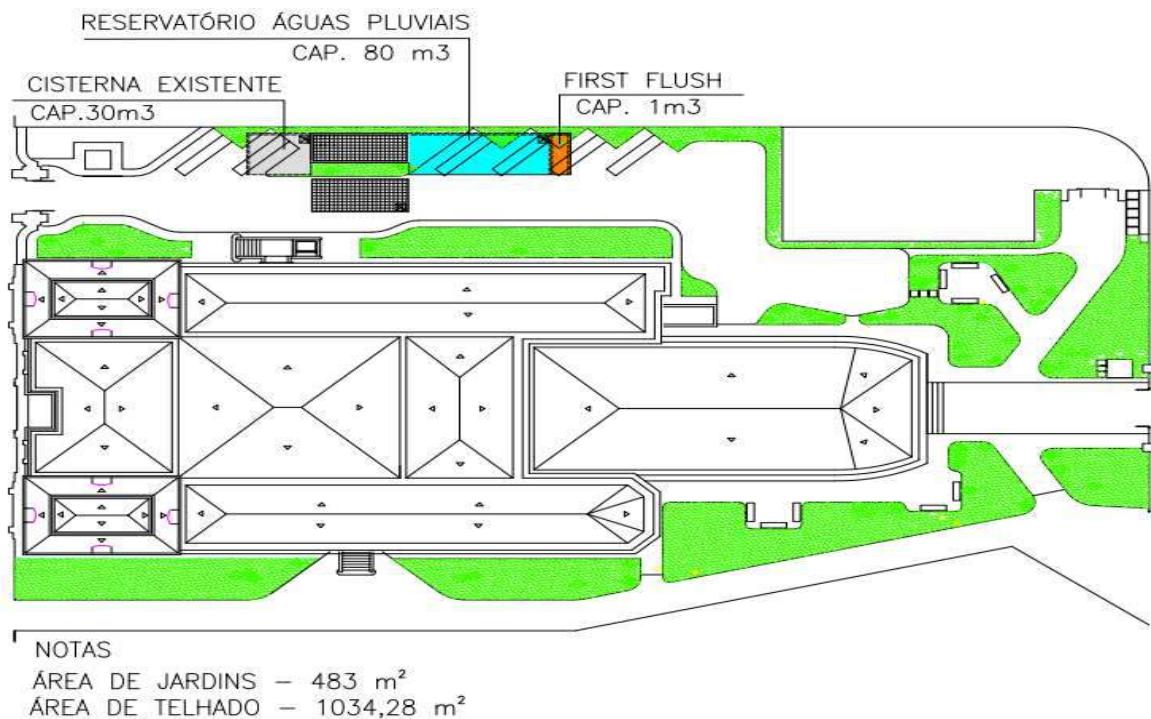
A seleção do local de implantação do reservatório considera o mínimo de interferências construtivas e de alteração da fachada da edificação, pelo fato de o CCJF-RJ ser um patrimônio histórico.

Visto que a maior parte da demanda da edificação é para o sistema de refrigeração, a locação para implantação do reservatório de águas pluviais se encontra próxima da torre de resfriamento e da cisterna de refrigeração existente, que atualmente armazena e utiliza água potável da concessionária local (CEDAE). Além disso, esse local está próximo das áreas de jardins, para que possa atender a demanda de irrigação.

Os tubos que conduzem a água de chuva até o reservatório devem direcionar o volume precipitado primeiramente para o reservatório de descarte, que tem capacidade de 1 m<sup>3</sup> e dimensões de 1,00 x 3,40 x 0,30 m. Em seguida o escoamento da precipitação segue para o reservatório de água de chuva, cuja capacidade é de 80 m<sup>3</sup>, e dimensões de 3,40 x 10,00 x 2,35 m, maior do que o existente, a fim de garantir, desta forma, a capacidade de armazenamento suficiente para alimentar parte do sistema, além de contribuir também de forma simultânea no amortecimento dos picos de

vazão para a rede de drenagem urbana. A Figura 21 apresenta o desenho esquemático de locação proposta do reservatório de águas pluviais e de descarte, bem como o direcionamento das instalações hidráulicas, baseado na planta de instalação hidráulica do pavimento térreo, fornecida pelo CCJF-RJ.

Figura 21 – Desenho esquemático sugerido de locação dos reservatórios - CCJF



Fonte: AdAPTADO DE CCJF, 2016.

### 3.4 Análise econômica simplificada

A economia gerada pelo sistema de aproveitamento de águas pluviais proposto é estimada ao considerar a demanda média anual de 878,20 m<sup>3</sup> de água para irrigação de jardins e no sistema de refrigeração, com atendimento de 8 dias ao mês e a demanda de água externa de 93 m<sup>3</sup> necessária para suprir a demanda nos meses em que o reservatório está vazio (Tabela 24). A diferença entre estes dois valores é a demanda média real atendida pelo sistema no ano de 785 m<sup>3</sup>.

A Tabela 25 mostra os valores mensal e anual estimados, como economias obtidas pelo CCJF-RJ, caso o sistema de aproveitamento de águas pluviais estivesse em operação nos anos de 2014 e 2015.

Tabela 25 – Economia de água estimada para 2014 e 2015

Ano	2014			2015		
	Mês	Consumo CEDAE (m <sup>3</sup> )	Volume economizado (%)	Economia (R\$)	Consumo CEDAE (m <sup>3</sup> )	Volume economizado (%)
Janeiro	445	16%	1203,42	375	19%	1100,33
Fevereiro	626	18%	1154,53	1554	7%	1760,59
Março	510	15%	1388,91	573	14%	1205,74
Abril	505	16%	1150,31	516	15%	1220,49
Maio	428	17%	1246,31	512	14%	1261,22
Junho	388	13%	790,81	440	11%	767,87
Julho	393	10%	567,22	424	10%	642,11
Agosto	451	5%	251,72	438	5%	323,47
Setembro	407	13%	913,28	388	14%	952,31
Outubro	448	15%	913,51	405	16%	1160,67
Novembro	529	13%	896,22	405	17%	1216,73
Dezembro	375	17%	1388,01	429	15%	1130,29
<b>Total anual</b>	<b>5505</b>	-	<b>11864,25</b>	<b>6459</b>	-	<b>12741,82</b>

Fonte: O AUTOR, 2016.

Observa-se pela Tabela 25 uma economia estimada de R\$11864,25 para o ano de 2014 e R\$12741,82 para o ano de 2015, que correspondem a 14% e 12%, respectivamente, das faturas emitidas em 2014 e 2015 pela CEDAE.

A estimativa do custo do reservatório pode ser realizada com a Equação 16:

$$C = 192 - 0,28 \times V$$

$$C = 192 - 0,28 \times 80 = \text{US\$ } 178/m^3 = \text{R\$ } 544,42/m^3$$

Logo, para o volume reservado de 80 m<sup>3</sup>, o custo aproximado da implantação do reservatório é de R\$ 43.553,28. Segundo Tomaz (2009), este custo pode ainda ser estimado a partir do valor de US\$ 150/m<sup>3</sup> de água reservada, o que fornece um valor de R\$ 480,98/m<sup>3</sup>, e um custo de R\$ 38.520,00. O valor do dólar cotado no mês de outubro de 2016 é igual a R\$ 3,21. O custo da implantação do sistema segundo Ohnuma Jr. (2008) pode ser realizado com base no valor de US\$ 400/m<sup>3</sup>, o que fornece um valor de R\$ 102.720,00.

A partir do método do *payback* simples, o tempo inicial para que o investimento seja recuperado é calculado a partir da divisão do investimento inicial, que é de R\$102.720,00, pelo ganho no período com base no ano de 2015, que é de R\$12.741,82. O tempo inicial para que o investimento seja recuperado é de aproximadamente 8 anos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo geral a elaboração de um estudo de captação e aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis para uso nas torres de resfriamento e rega de jardins no Centro Cultural Justiça Federal do Rio de Janeiro.

Dois fatores iniciais foram considerados na seleção do presente estudo: as áreas de cobertura e de jardins da edificação, que apresentam tamanhos consideráveis, de 1034,28 m<sup>2</sup> e 483 m<sup>2</sup>, respectivamente, aliadas a alta demanda mensal de água da edificação, de 460 m<sup>3</sup> ou 15,33 m<sup>3</sup>/dia.

Quanto a demanda de água da edificação, foram estimadas as demandas individuais de todas as atividades e serviços realizados na edificação na forma de desagregação do consumo. Constatou-se que a maior demanda mensal é oriunda do sistema de refrigeração, com um consumo de 57,7% do total. A segunda maior demanda é dos funcionários, com 30,1%, seguida da cafeteria, com 5,7%, visitantes, com 4,0% e irrigação de jardins, com 2,5%. As atividades do sistema de refrigeração somadas a de rega de jardins respondem, portanto, por 60,2% da demanda total de água pelos usuários da edificação. O indicador de referência de demanda de água do sistema de refrigeração calculado é de 0,018 m<sup>3</sup> de água/m<sup>3</sup> de ambiente refrigerado.

Foram estudados os dados de precipitação pluviométrica do local, a partir de séries históricas do Sistema Alerta Rio da Prefeitura (ALERTA RIO, 2016b), e obtido um volume de chuva aproveitável de 884 m<sup>3</sup> ao ano na região central do município do Rio de Janeiro.

O dimensionamento do reservatório foi realizado a partir de métodos que consideram a demanda nos cálculos, como o Método de Rippl, Método Prático Australiano, Método da Simulação e Método dos dias consecutivos sem chuva, e a partir de métodos que não consideram a demanda, como o Método de Azevedo Netto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês e o Método da Resolução Conjunta.

Foi verificado nos cálculos que a demanda de água para o sistema de refrigeração e irrigação de jardins é aproximadamente 4 vezes maior que o volume de chuva aproveitável e, por isso, os métodos que consideram demanda sofreram uma redução

desta variável, possibilitando o aproveitamento de água de chuva no período de 8 dias por mês.

O volume do reservatório proposto para atender a demanda considerada é de 80 m<sup>3</sup> e o custo estimado para a implantação do sistema é de US\$ 32.000,00.

A economia direta de água potável calculada, ao considerar a demanda média anual de 878,20 m<sup>3</sup>, é de R\$ 11.864,25 para o ano de 2014 e R\$12.741,82 para o ano de 2015, que correspondem a 14% e 12%, respectivamente, caso o sistema de aproveitamento de águas pluviais estivesse em operação no mesmo período. O período de retorno do investimento é estimado em 8 anos.

Recomenda-se para trabalhos futuros que seja realizado o projeto de instalações hidráulicas do sistema de aproveitamento de águas pluviais, e que sejam levantados todos os custos de material, mão-de-obra e equipamentos necessários para o funcionamento do sistema, para uma análise mais acertiva do período de retorno do investimento.

Quanto ao tratamento da água, é importante que sejam feitas análises periódicas laboratoriais dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos para qualificar a água do reservatório, ainda que projetado sistema de tratamento por filtros e cloração. Esta análise possibilitará o cálculo de dosagem ideal de produtos químicos.

Conclui-se que o aproveitamento da água de chuva para usos não potáveis para o sistema de refrigeração e irrigação de jardins apresenta inúmeros benefícios. A redução do consumo de água potável fornecida pela companhia de abastecimento, a conservação deste recurso diante da crise hídrica que se instaurou nos últimos anos no Brasil, assim como a redução de volumes de precipitação efetiva na rede micro e macrodrenagem, com a finalidade de minimizar as enchentes e inundações nas grandes cidades, são benefícios que devem ser levados em consideração ao se analisar a viabilidade do sistema.

## REFERÊNCIAS

2030 WATER RESOURCES GROUP. The Water Resources Group. Briefing report prepared for the World Economic Forum Annual Meeting 2012 in Davos-Klosters. Switzerland, 2012. Disponível em: <[http://www3.weforum.org/docs/WEF/WRG\\_Background\\_Impact\\_and\\_Way\\_Foward.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF/WRG_Background_Impact_and_Way_Foward.pdf)>. Acesso em: 12 ago. 2016.

ABCMAC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA. Petrolina, 1999. Disponível em: <<http://www.abcmac.org.br/index.php?modulo=apresentacao>>. Acessado em: 25 ago. 2016.

ALBUQUERQUE et al. Composição química da água de chuva na região metropolitana do Rio de Janeiro. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/14-33cdacd6a6fec1194005c74bc7f8615a.pdf>>. Acessado em: 13 ago. 2016.

AQUASTOCK. Tecnologia para o aproveitamento de água de chuva Filtros Vortex (WFF). 2016. Disponível em: <<http://aquastock.com.br/port/~/filtros-vortex-wff->>. Acesso em: 12 nov. 2016.

ALERTA RIO. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. Probabilidade de escorregamento. Disponível em: <<http://www.sistema-alerta-rio.com.br/alertas/probabilidade-de-escorregamento/>>. Acesso em 12 nov. 2016a.

\_\_\_\_\_. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. Registro de dados pluviométricos. Disponível em: <<http://alertario.rio.rj.gov.br/>>. Acesso em 25 set. 2016b.

ANA - Agência Nacional De Águas. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional/ Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape. – Brasília: ANA: Engecorps/ Cobrape, 2010a. 2 v.:il.

\_\_\_\_\_. Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: resultados por estado/ Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape. – Brasília: ANA: Engecorps/ Cobrape, 2010b. 2 v.:il.

\_\_\_\_\_. Conjuntura dos recursos hídricos: informe 2015 / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2015a. 88 p.: il.

\_\_\_\_\_. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013 / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2013. 432 p. : li.

ANA - Agência Nacional De Águas. Encarte especial sobre a crise hídrica: conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2014. Brasília: SPR, 2015b. 31 p.

\_\_\_\_\_. FIESP, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. SINDUSCON-SP, Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo. Manual de Conservação e Reuso da água em Edificações. 152 páginas. São Paulo, 2005.

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

\_\_\_\_\_. NBR 15527: água de chuva: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

\_\_\_\_\_. NBR 16401: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. NBR 14653-4: Avaliação de bens parte 4: Empreendimentos. Rio de Janeiro, 2002.

ATLAS BRASIL. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. 2013. Disponível em: <[http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil\\_m/3584](http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/3584)>. Acesso em 12 out. 2016.

BRASIL. Instrução normativa nº 01, de 19 de janeiro de 2010. Dispõe sobre os critérios de sustentabilidade ambiental na aquisição de bens, contratação de serviços ou obras pela Administração Pública Federal direta, autárquica e fundacional e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.comprasnet.gov.br/legislacao/legisacaoDetalhe.asp?ctdCod=295>>. Acessado em: 25 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acessado em: 25 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. Decreto nº 23.940, de 30 de janeiro de 2004. Torna obrigatório, nos casos previstos, a adoção de reservatórios que permitam o retardo do escoamento das águas pluviais para a rede de drenagem. Rio de Janeiro, 30 de janeiro de 2004 - 439º ano da fundação da Cidade. CESAR MAIA DO Rio 02/02/2004. Disponível em: <[http://www0.rio.rj.gov.br/smac/up\\_arq/DEC-23940-04-aguaspluv.pdf](http://www0.rio.rj.gov.br/smac/up_arq/DEC-23940-04-aguaspluv.pdf)>. Acessado em: 25 ago. 2016.

BRASIL. Projeto de lei nº 7.818/2014, estabelece a Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua promoção. Disponível em: <[http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarIntegra;jses-sionid=4BDB36948FB136D794FAEDD8BA9C6730.proposicoesWeb2?codteor=1267342&filename=PL+7818/2014](http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarIntegra;jses-sionid=4BDB36948FB136D794FAEDD8BA9C6730.proposicoesWeb2?codteor=1267342&filename=PL+7818/2014)> . Acessado em: 25 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. Projeto de lei nº 8/2015. Dispõe sobre a criação do programa de captação de água da chuva. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/scpro1519.nsf/1061f759d97a6b24832566ec0018d832/dfa69df61218620483257de10073563e?OpenDocument>> . Acessado em: 25 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. CNRH - Conselho Nacional De Recursos Hídricos. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 32, de 15 de outubro de 2003: Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. Diário Oficial da União. Brasília, 17 jan. 2003.

\_\_\_\_\_. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO SOCIAL E AGRÁRIO. Programa Cisternas, 2016. Disponível em: <<http://mds.gov.br/assuntos/seguranca-alimentar/acesso-a-agua-1/programa-cisternas>> . Acessado em: 17 set. 2016.

CANDIDA, S. Museu do Amanhã recebe certificação máxima em sustentabilidade. Jornal O Globo, 08 jul. 2016. Disponível em: <<http://oglobo.globo.com/rio/museu-do-amanha-recebe-certificacao-maxima-em-sustentabilidade-19669830#ixzz4Pq5CiUNn>> . Acesso em: 12 nov 2016.

CCJF – CENTRO CULTURAL JUSTIÇA FEDERAL. Divisão de Planejamento e Administração. Rio de Janeiro, 2016.

CEDAE – COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO DE JANEIRO. Conta de Fornecimento de Água. Rio de Janeiro, 2016.

CERHI-RJ – Conselho Estadual De Recursos Hídricos. (2013). Resolução nº 107, de 22 de maio de 2013. Rio de Janeiro: CERHI

COHIM et al. Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios. 2008. Disponível em: <[http://www.teclim.ufba.br/site/material\\_online/publicacoes/pub\\_art74.pdf](http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art74.pdf)> . Acessado em: 26 ago. 2016.

COSCARELLI, A.P. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em uma atividade industrial: estudo de caso de uma edificação a ser construída, Rio de Janeiro, 2010. 159 f.

COSTA, G. Obras do primeiro Museu do Sal do país continuam em São Pedro da Aldeia. São Pedro da Aldeia, 2015. Disponível em: <<http://pmspa.rj.gov.br/noticia/obras-do-museu-do-sal-continuam>>. Acessado em: 24 ago. 2016.

DIAS, I. Estudo da viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água de chuva em residências na cidade de João Pessoa. 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Urbanismo) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

FERNANDES et al. Águas do Rio: um panorama geral da disponibilidade hídrica no Estado fluminense. Revista Ineana/ Intituto Estadual do Ambiente. v. 03, nº1 (Jul/dez 2015), p. 6-25 – Rio de Janeiro: INEA, 2015. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/MegaDropDown/EstudosePublicacoes/Publicacoes/index.htm&lang>>. Acessado em: 19 ago. 2016.

GBC BRASIL. Museu de Arte do Rio conquista o selo Leed. 2014. Disponível em: <<http://www.gbcbrasil.org.br/detalhe-noticia.php?cod=6>>. Acessado em: 24 ago. 2016.

GEO BRASIL. GEO Brasil : recursos hídricos : resumo executivo. / Ministério do Meio Ambiente ; Agência Nacional de Águas ; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília : MMA; ANA, 2007. 60 p. : il. (GEO Brasil Série Temática : GEO Brasil Recursos Hídricos).

GOOGLE MAPS. Localização do CCJF. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Centro+Cultural+Justi%C3%A7a+Federal/@-22.910505,-43.1775205,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x997f61e8ff7453:0x63966cffafb6d5ca!8m2!3d-22.91051!4d-43.1753318>>. Acesso em: 12 out. 2016.

GROUP RAINDROPS. Aproveitamento da água da chuva. Tradução de Masato Kobiyama et al. Curitiba: Organic Trading, 2002. 196 p.

HEIJNEN, H. A captação de água da chuva: aspectos de qualidade da água, saúde e higiene. Anais do 8º Simpósio brasileiro de captação e manejo de água de chuva. Campina Grande, FIEP, 2012. Disponível em: <<http://www2.al.rs.gov.br/forumdemocratico/LinkClick.aspx?fileticket=Zv8iFiAtyTk%3D>>. Acessado em: 13 ago. 2016.

HITACHI. CATÁLOGO TÉCNICO II (Manual de Instalação e Operação), Chiller Condensação a ÁguaSérie RCU\_WSZCompressor ParafusoR-22 / R-407C, 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Atlas do censo demográfico 2010 / IBGE. – Rio de Janeiro : IBGE, 2013. 156 p.. Disponível em : < [http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64529\\_capa\\_sum.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64529_capa_sum.pdf) >. Acesso em 02 nov. 2016.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. Segurança Hídrica. Disponível em: <<http://www.segurancahidrica.com.br/segurancahidrica>>. Acesso em 28 set. 2016.

INEAM – Instituto Nacional de Educação ambiental. Aproveitamento da água da chuva passa a ser obrigatório em Florianópolis. Gestão Urbana, 2016. Disponível em: <<http://ineam.com.br/aproveitamento-da-agua-da-chuva-passa-a-ser-obrigatorio-em-florianopolis/>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

JACOB et al. 10º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Dias Consecutivos Secos Para Estimativa De Volumes De Aproveitamento De Águas Pluviais Em Períodos De Estiagem Na Cidade Do Rio De Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

KAMMERS, P. C. Usos Finais de Água em Edifícios Públicos: Estudo de Caso em Florianópolis-SC. Relatório Final de Iniciação Científica. Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2004.

MAGALHÃES, J. Aproveitamento de águas pluviais - Aplicação de um sistema de aproveitamento a um hospital. Porto, 2013.

MARQUES, C. Proposição de sistema de aproveitamento de água de chuva para o campus campina grande do IFPB: estudo da viabilidade econômica. João Pessoa, 2012. Disponível em: < [http://tede.biblioteca.ufpb.br/handle/tede/5468?locale=pt\\_BR#preview-link0](http://tede.biblioteca.ufpb.br/handle/tede/5468?locale=pt_BR#preview-link0)>. Acessado em: 17 set. 2016.

MAY, S. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

MMA – Ministério do Meio ambiente. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil: Volume 1 / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 4 v.: il.

MARINOSKI, A.K. Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC. Florianópolis, 2007.

OHNUMA JR., A. A.; MENDIONDO, E. M. Estudo de técnicas compensatórias de drenagem urbana como proposta de gestão das águas pluviais. In: XI Congresso Brasileiro de Defesa do Meio Ambiente, 2015, Rio de Janeiro. A seca do nordeste já atinge o sudeste. Rio de Janeiro: Conselho Regional de Engenharia e Agronomia, 2015. v. 1. p. 27-47.

OLIVEIRA, H. Panoramio google mapas Centro Cultural Justiça Federal. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.panoramio.com/photo/66975474>>. Acesso em: 22 de out de 2016.

OLIVEIRA, J.. Auditoria em torres de resfriamento em industrias químicas. Salvador, 2011. Disponível em: <[http://www.pei.ufba.br/novo/uploads/biblioteca/TCC\\_jesica%20REV%203.pdf](http://www.pei.ufba.br/novo/uploads/biblioteca/TCC_jesica%20REV%203.pdf)>. Acesso em: 20 out 2016.

PERHI-RJ . Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro: Relatório Síntese – Maio 2014. Governo do Estado do Rio de Janeiro; Secretaria de Estado de Ambiente; Instituto Estadual do Ambiente, 2014.

PNUD. Programa Das Nações Unidas Para O Desenvolvimento. Relatório de Desenvolvimento Humano 2011. Sustentabilidade e Equidade: Um Futuro Melhor para Todos. Pnud, 2011. Disponível em: <[http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr\\_2011\\_pt\\_complete.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr_2011_pt_complete.pdf)>. Acesso em 09 de agosto de 2016.

\_\_\_\_\_. Relatório do Desenvolvimento Humano. A água para lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água. Brasília, novembro de 2006, p. 51.52. Disponível em: <[http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2014\\_pt\\_web.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/hdr2014_pt_web.pdf)>. Acesso em: 09 ago. 2016.

PORTAL BRASIL. MDS. Programa Cisternas democratiza acesso à água no Semiárido.2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-juridica/2016/05/programa-cisternas-democratiza-acesso-a-agua-no-semiariano>>. Acessado em: 15 ago. 2016.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. Resolução Conjunta SMG/SMO/SMU nº. 001, 27 de janeiro de 2005, publicada no Diário Oficial do Município do Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <[http://www.rio.rj.gov.br/documents/91265/148105/21\\_ResConjsmgsmosmu01-05-Dec23940.pdf](http://www.rio.rj.gov.br/documents/91265/148105/21_ResConjsmgsmosmu01-05-Dec23940.pdf)>. Acesso em 3 nov. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NITERÓI. Lei nº 2.630, de 07 de janeiro de 2009. Disciplina os procedimentos relativos ao armazenamento de águas pluviais para reaproveitamento e retardo da descarga na rede pública. Disponível em: <

[http://www.niteroi.rj.gov.br/downloads/do/2009/01\\_Jan/08.pdf](http://www.niteroi.rj.gov.br/downloads/do/2009/01_Jan/08.pdf). Acessado em: 25 ago. 2016.

PROSAB. Uso racional da água em edificações. GONÇALVES, R. F. (coord.), Rio de Janeiro: ABES , 2006.

SABESP. Uso racional da água, 2016. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=138>>. Acesso em: 3 nov. 2016

SMU - SECRETARIA MUNICIPAL DE URBANISMO. Legislação Bairro a Bairro, 2015. Disponível em: <<http://mapas.rio.rj.gov.br/>>. Acesso em: 12 out. 2016.

TERMOPARTS. Torres de resfriamento. 2012. Disponível em: <<http://www.termoparts.com.br/tp/informacao-24/biblioteca-tecnica-50/agua-de-resfriamento-porque-mante-la-limpa-163.html>>. Acesso em: 20 out 2016.

THERMOS REFRIGERAÇÃO. Expansão indireta. 2016. Disponível em: <[http://www.thermosrefrigeracao.com.br/expansao\\_indireta.php](http://www.thermosrefrigeracao.com.br/expansao_indireta.php)>. Acesso em: 3 nov. 2016.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não portáteis. 4ª edição. São Paulo: Navegar Editora, 2011.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. 486p., 2009. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro\\_aprov.\\_aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf)>. Acesso em: 3 nov. 2016.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Previsão de consumo de água. São Paulo: Navegar, 2000.

UNEP - UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Rainwater Harvesting and Utilisation: An Environmentally Sound Approach for Sustainable. Urban Water Management: An Introductory Guide for Decision-Makers. Global Development Research Centre (GDRC), 2002. Disponível em: <<http://www.unep.or.jp/ietc/publications/urban/urbanenv-2/index.asp>>. Acessado em: 14 ago. 2016.

UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2015). World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP.241. New York, 2015. Disponível em: <[https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key\\_findings\\_wpp\\_2015.pdf](https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/key_findings_wpp_2015.pdf)>. Acesso em: 12 ago. 2016.

WWAP - WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. UNESCO. The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk. Paris, 2012. Disponível em: <<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTI/MULTI/HQ/SC/pdf/WWDR4%20Volume%201-Managing%20Water%20under%20Uncertainty%20and%20Risk.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

## ANEXO A - Série histórica de precipitação

Tabela 13 – Série histórica de precipitação da estação Saúde em mm (continua)

	2005	2004	2003	2002	2001	2000	1999	1998	1997	Ano	
	242,8	189,4	121,0	245,6	59,4	18,8	146,4	151,8	261,4	176,7	Jan
	104,0	162,4	140,6	2,4	130,2	45,6	166,4	94,6	232,4	13,4	Fev
	63,8	133,0	68,4	235,2	42,2	100,2	107,6	186,2	171,3	69,8	Mar
	105,4	122,2	87,4	99,8	3,4	28,0	23,6	94,3	58,9	27,1	Abr
	90,4	66,4	42,0	45,0	98,6	89,2	33,7	86,3	160,4	51,0	Mai
	64,8	50,0	22,6	31,0	25,4	57,0	10,1	90,8	37,5	26,0	Jun
	27,0	61,0	153,4	17,6	19,4	52,8	67,1	44,0	58,5	9,7	Jul
	25,2	7,0	13,2	137,4	19,0	3,6	47,6	7,5	16,0	33,2	Ago
	80,4	134,0	14,6	81,4	80,0	43,6	88,6	63,9	120,6	43,4	Set
	108,4	125,6	64,0	166,0	26,6	68,8	72,8	33,8	139,4	74,0	Out
	179,0	147,4	155,0	207,8	172,2	134,0	78,8	63,0	84,3	90,9	Nov
	63,0	174,0	132,8	94,6	242,8	321,2	114,0	87,9	208,0	91,3	Dez
	96,2	114,4	84,6	113,7	76,6	80,2	79,7	83,7	129,1	58,9	Média anual
	1154,2	1372,4	1015,0	1363,8	919,2	962,8	956,7	1004,1	1548,7	706,5	Total

Tabela 13 – Série histórica de precipitação da estação Saúde em mm (conclusão)

Média	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	Ano
153,6	50,6	38,2	285,8	209,4	68,0	215,2	221,8	115,4	101,2	Jan
91,9	95,2	11,6	79,8	51,6	21,4	82,8	79,6	123,0	108,8	Fev
123,7	113,2	85,2	184,2	80,2	81,8	333,0	115,0	175,0	5,8	Mar
86,9	31,6	94,0	82,0	82,8	177,4	294,6	81,2	108,8	48,6	Abr
68,9	34,8	20,6	70,0	77,8	103,0	52,2	48,6	42,0	97,0	Mai
43,0	62,2	50,8	26,6	61,0	25,2	35,2	55,8	42,4	42,4	Jun
48,8	6,2	62,2	103,2	17,8	13,4	77,8	62,0	36,2	38,4	Jul
24,6	0,8	19,8	9,8	14,6	10,4	25,0	25,8	46,2	5,8	Ago
65,6	67,8	29,0	65,0	85,4	32,2	30,4	75,8	99,2	10,4	Set
88,1	7,0	31,0	64,0	59,0	106,8	100,6	162,8	61,0	202,4	Out
123,0	194,6	52,4	121,4	85,0	75,0	62,0	115,6	193,2	125,8	Nov
150,3	80,4	45,8	199,0	38,8	106,6	255,2	308,8	113,4	178,2	Dez
89,0	62,0	45,1	107,6	72,0	68,4	130,3	112,7	96,3	80,4	Média anual
<b>1068,5</b>	<b>744,4</b>	<b>540,6</b>	<b>1290,8</b>	<b>863,4</b>	<b>821,2</b>	<b>1564,0</b>	<b>1352,8</b>	<b>1155,8</b>	<b>964,8</b>	<b>Total</b>

Fonte: ALERTA RIO, 2016b.

**ANEXO B – Fotos**

Figura 12 – Sistema de refrigeração - Chiller



Fonte: O AUTOR, 2016.

Figura 14 – Área de Jardins – vista 1



Fonte: O AUTOR, 2016.

Figura 15 – Área de Jardins – vista 2



Fonte: O AUTOR, 2016.