

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

Rafael Vanni Bovo

**OTIMIZAÇÃO DO USO DE ÁGUA DE CHUVA
ARMAZENADA EM FACE DE TARIFAS DE CONTINGÊNCIA**

Porto Alegre
maio 2016

RAFAEL VANNI BOVO

**OTIMIZAÇÃO DO USO DE ÁGUA DE CHUVA
ARMAZENADA EM FACE DE TARIFAS DE CONTINGÊNCIA**

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

Orientador: Fernando Dornelles

Porto Alegre
maio 2016

RAFAEL VANNI BOVO

**OTIMIZAÇÃO DO USO DE ÁGUA DE CHUVA
ARMAZENADA EM FACE DE TARIFAS DE CONTINGÊNCIA**

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

Porto Alegre, maio de 2016

Prof. Fernando Dornelles
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH/UFRGS
Orientador

Profa. Luciane Somensi Lorenzi
Dra. pelo PPGA/UFRGS
Vice Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernando Dornelles
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo IPH/UFRGS

Prof. Joel Avruch Goldenfum
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela University of London

Eng. Ana Luiza Helfer
Engenheira Ambiental pela UFRGS

Dedico este trabalho a meus pais, Leandro Bovo e Simone Vanni, ao meu padrasto Gilnei Vetorazzi e a minha namorada Thieny Buckowsky que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Fernando Dornelles, orientador deste trabalho, pela atenção e dedicação que me foi prestada ao longo de todo desenvolvimento deste trabalho.

Hoje é apenas mais um dia de todos os que virão.
Mas o que acontecerá em todos os outros dias pode
depender do que você fizer hoje.

Ernest Hemingway

RESUMO

Frente à crescente escassez de recursos hídricos que assola diversas localidades ao redor do Planeta, faz-se necessária a conscientização da população e a adoção de práticas que visem o uso racional da água. A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) enfrenta um período crítico no seu abastecimento de água, devido a sua grande densidade demográfica e consequente demanda por água, aliados à degradação dos mananciais e à escassez de chuvas. A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), responsável pelo abastecimento de água na RMSP, visando reduzir o consumo de água pela população, e assim, evitar um iminente racionamento, aprovou a cobrança de uma tarifa de contingência. Esta modalidade de cobrança tarifária tem como objetivo penalizar usuários que ultrapassem um determinado consumo, como por exemplo o seu consumo médio registrado no ano anterior, e bonificar aqueles usuários que consumirem menos que o consumo determinado. Este trabalho aborda os diferentes tipos de abastecimento de água, com foco principal em Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC), abordando toda sua concepção e diferentes métodos de dimensionamento. Tendo em vista a tarifa de contingência adotada pela Sabesp, propõe-se uma simulação por balanço de massas entre os reservatórios de água pluvial e água tratada, para suprir a demanda por água não potável, onde são avaliadas regras de utilização do sistema de aproveitamento de água de chuva, indicando, para cada dia, os volumes de água a serem utilizados do reservatório de água de chuva e da rede de abastecimento, visando a otimização do benefício econômico por meio da redução de custos com a compra de água junto à concessionária. Objetivando-se a aplicação metodológica do sistema proposto, foram feitas simulações de implantação do SAAC e suas diferentes composições em um Shopping Center hipotético localizado na cidade de São Paulo/SP. Inicialmente foram desenvolvidas as regras de utilização otimizadas com a utilização da série histórica de precipitações da região e posteriormente verificou-se o funcionamento das regras para o período crítico (2013 a 2015) de precipitações da mesma região. A aplicação da metodologia proposta atingiu de forma satisfatória o objetivo do trabalho, uma vez que foi possível realizar a otimização das regras de utilização do balanço de massas entre os reservatórios, onde obteve-se como resultado um benefício econômico com o total gasto com a tarifa de água da concessionária, ao longo do período crítico, em comparação ao gasto com o uso desregulado da água de chuva armazenada, para suprir a demanda por água não potável do Shopping Center.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Regiões hidrográficas do Brasil.....	8
Figura 2 – Diagrama das etapas do trabalho.....	13
Figura 3 – Sistema simples de abastecimento de água.....	17
Figura 4 – Sistema de abastecimento com captação subterrânea.....	17
Figura 5 – Esquema simples de processo de dessalinização.....	19
Figura 6 – Fatores para implantação do reuso de água.....	21
Figura 7– Esquemática de um sistema de aproveitamento de água de chuva e seus fluxos de água.....	24
Figura 8 – Exemplo de funcionamento de um sistema de aproveitamento de água de chuva combinado com abastecimento de água potável.....	25
Figura 9 – Área de captação – telhado: comprimento x largura.....	26
Figura 10 – Área de captação – laje: comprimento x largura.....	26
Figura 11 – Área de captação – telhado e pátio: armazenamento em reservatório subterrâneo.....	26
Figura 12 – Sistema de grade localizado sobre a calha.....	28
Figura 13 – Filtro para condutor vertical.....	28
Figura 14 – Caixa de areia para filtração de água de chuva.....	28
Figura 15 – Reservatório de pré-tratamento por descarte de escoamento inicial.....	29
Figura 16 – Processo de obtenção das curvas dos ábacos de dimensionamento para reservatório de aproveitamento de água de chuva.....	33
Figura 17 – Benefício econômico e custo de construção em função da capacidade de reserva.....	34
Figura 18 – Benefício econômico e nível de atendimento à demanda em função da área de captação.....	35
Figura 19 – Benefício econômico e custo de construção em função do nível de atendimento à demanda.....	35
Figura 20 – Fluxos de balanços de massa para simulação do SAAC.....	39
Figura 21 – Curva de crescimento populacional da RMSP, 1940 - 2012.....	45
Figura 22 – Região Metropolitana de São Paulo e sub-regiões.....	46
Figura 23 – Dados pluviométricos dos mananciais da RMSP relativos ao ano hidrológico 2013/2014.....	49
Figura 24 – Dados do Sistema Cantareira em 21 de outubro de 2014.....	49
Figura 25 – Demanda mensal total de 2012.....	51
Figura 26 – Demanda diária total de 2012.....	51
Figura 27– Demanda mensal ar condicionado de junho de 2012 a maio de 2013.....	52

Figura 28 – Demanda diária ar condicionado de junho de 2012 a maio de 2013.....	53
Figura 29 – Ábaco de dimensionamento reservatório de água de chuva - São Paulo/SP.	54
Figura 30 – Precipitação mensal média 1888 a 2003.....	56
Figura 31 – Precipitação mensal período crítico 2013 a 2015.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quadro geral de demandas diárias do Shopping Center.....	53
Tabela 2 – Regras de utilização otimizadas para a série histórica 1888 a 2003.....	59
Tabela 3 – Resultados das simulações para o período crítico.....	61

LISTA DE SIGLAS

Comasp – Companhia Metropolitana de Águas de São Paulo

ETA – Estação de Tratamento de Água

NBR – Norma Brasileira

PNUMA – Nações Unidas para o Meio Ambiente

RMSP – Região Metropolitana de São Paulo

SAAC – Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva

Sabesp – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SAEC – Superintendência de Água e Esgoto da Capital

Sanesp – Companhia Metropolitana de Saneamento de São Paulo

SIM – Sistema Integrado Metropolitano

Unicef – *United Nations Children's Fund*

LISTA DE SÍMBOLOS

VR – volume reservatório (L)

P – precipitação média anual (mm)

A – área de captação (m^2)

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

D – demanda diária (L/dia)

S(t) – volume de água no reservatório no tempo t (L)

Q(t) – volume de chuva aproveitável no tempo t (L)

D(t) – demanda ou consumo no tempo t (L)

c – coeficiente de escoamento superficial

$V_{(t-1)}$ – volume de água no reservatório no tempo t-1(L)

f(x) – função de x com valores reais

g(x) – função de x com valores reais

cd – coeficiente de descarte do filtro de pré-tratamento

VE – volume extravasado (L)

Pd – precipitação diária (mm)

bi – vetor com valor conhecido

t – índice de tempo (dia)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 DIRETRIZES DA PESQUISA.....	11
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA.....	11
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....	11
2.2.1 Objetivo principal.....	11
2.3 HIPÓTESE.....	11
2.4 PREMISSA.....	12
2.5 DELIMITAÇÕES.....	12
2.6 LIMITAÇÕES.....	12
2.7 DELINEAMENTO.....	12
3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	15
3.1 HISTÓRICO.....	15
3.2 SISTEMAS TRADICIONAIS.....	16
3.2.1 Concepção de sistemas tradicionais.....	17
3.2.2 Tarifa de água tratada.....	18
3.3 SISTEMAS ALTERNATIVOS.....	18
3.3.1 Dessalinização.....	18
3.3.2 Água de reuso.....	20
4 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	22
4.1 USO DE ÁGUA DE CHUVA.....	22
4.2 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA.....	23
4.2.1 Área de captação.....	25
4.2.2 Filtros, Grades e Dispositivos de Descarte.....	27
4.2.3 Armazenamento.....	29
4.2.3.1 Método Azevedo Neto.....	30
4.2.3.2 Método Prático Inglês.....	30
4.2.3.3 Método Prático Alemão.....	31
4.2.3.4 Método de Rippl.....	31
4.2.3.5 Método da Simulação.....	32
4.2.3.6 Método dos Ábacos.....	33
4.3 BENEFÍCIOS ECONÔMICOS.....	34
4.3.1 Capacidade de Reservação.....	34
4.3.2 Área de Captação.....	35

4.3.3 Demanda.....	35
5 METODOLOGIA.....	36
5.1 DADOS E PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA MODELAGEM.....	36
5.1.1 Levantamento de Dados da Série Diária de Chuva.....	36
5.1.2 Definição do Método de Dimensionamento do Reservatório de Água Pluvial.	38
5.1.3 Simulação do Reservatório do SAAC.....	38
5.1.4 Demandas.....	40
5.2 CENÁRIOS DE SIMULAÇÕES.....	40
5.2.1 Simulação do SAAC Sem Tarifa de Contingência.....	40
5.2.2 Simulação do SAAC Com Tarifa de Contingência.....	41
5.2.3 Simulação do SAAC Com Tarifa de Contingência e Regras de Utilização.....	42
5.2.4 Simulação Para o Período Crítico.....	42
5.3 OTIMIZAÇÃO.....	43
6 APLICAÇÃO METODOLÓGICA: SIMULAÇÃO PARA UM SHOPPING CENTER NA RMSP.....	45
6.1 CARACTERIZAÇÃO DA RMSP.....	45
6.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA RMSP.....	46
6.2.1 Crise Hídrica na RMSP.....	47
6.3 CARACTERÍSTICAS E DADOS DO SHOPPING CENTER.....	50
6.3.1 Demanda Total de Água.....	50
6.3.2 Demanda de Água Não Potável.....	52
6.3.3 Quadro Geral de Demandas Diárias.....	53
6.4 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA PLUVIAL.....	54
6.5 REGRAS DE OTIMIZAÇÃO.....	55
6.6 LEVANTAMENTO DE DADOS DA SÉRIE HISTÓRICA DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA.....	55
6.7 TARIFA DE CONTINGÊNCIA DA RMSP.....	57
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
7.1 OTIMIZAÇÃO COM DADOS DA SÉRIE HISTÓRICA.....	58
7.2 SIMULAÇÕES DO SAAC PARA O PERÍODO CRÍTICO.....	59
7.2.1 Implantação do SAAC sem Tarifa de Contingência.....	59
7.2.2 Implantação do SAAC com Tarifa de Contingência.....	60
7.2.3 Implementação das Regras Otimizadas de Utilização no SAAC.....	61
7.3 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PARA O PERÍODO CRÍTICO.....	61
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62

1 INTRODUÇÃO

A água no planeta Terra apresenta um ciclo hidrológico fechado, onde a água é depurada naturalmente, assim o volume e qualidade da água permaneceram inalterados durante os últimos 500 milhões de anos. Entretanto, este cenário vem enfrentando períodos de instabilidade, e o grande responsável por este desequilíbrio é o ser humano. A população mundial vem crescendo de forma acelerada ao longo dos séculos, bem como a parcela da população que vive em grandes cidades. Esta urbanização desenfreada gera uma grande demanda por água, que juntamente com a constante degradação dos mananciais, proveniente do esgotamento urbano, exercem enorme pressão sobre a disponibilidade dos recursos hídricos.

A responsabilidade de reduzir esta constante depreciação, deste recurso natural imprescindível para vida, e evitar que a escassez de água se torne um problema crônico mundial, pertence a todos os seres humanos. A conscientização da importância da economia de água é um dos primeiros passos para atenuar o problema e, juntamente com incentivos governamentais, promover mudanças de hábitos da população para o uso racional da água.

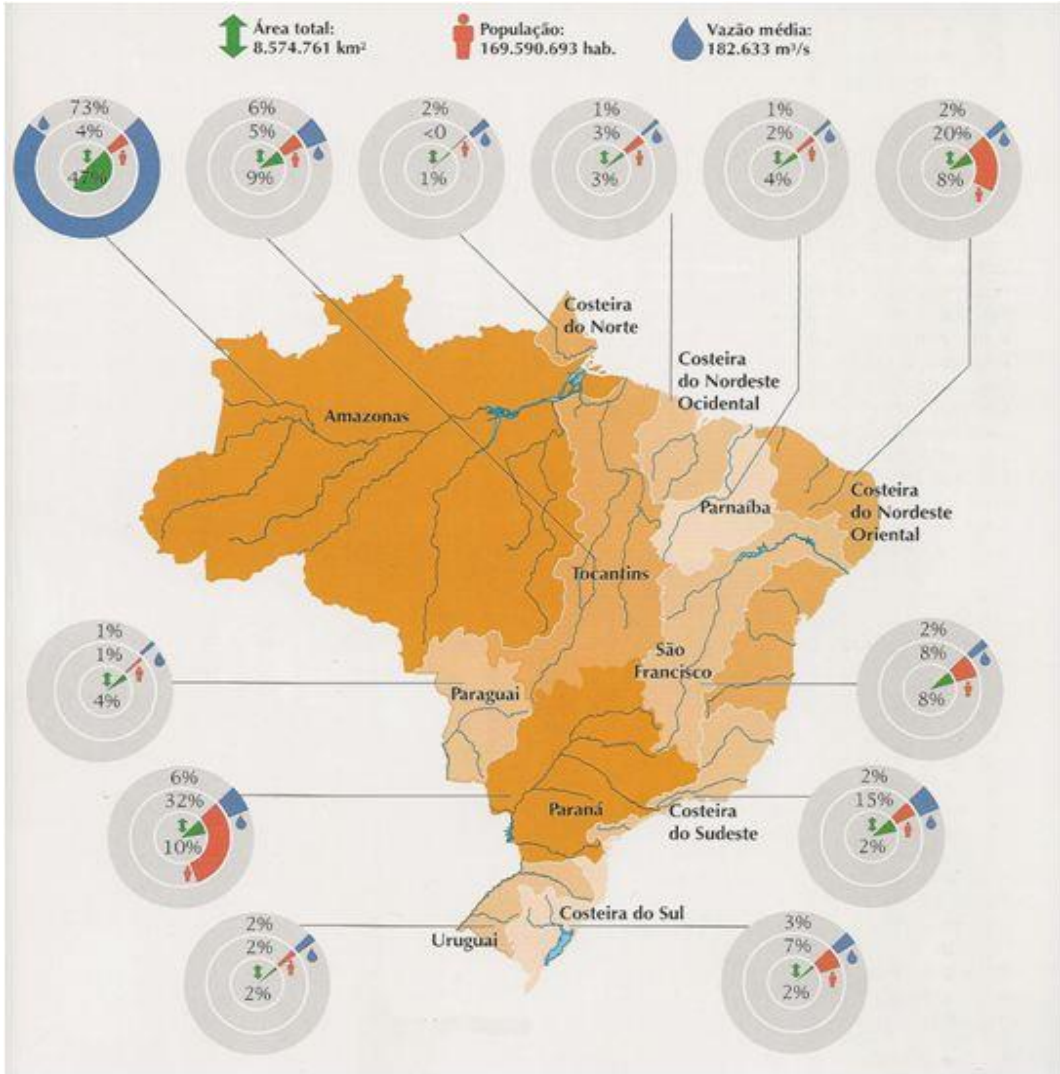
Uma das maneiras de se atenuar as mazelas causadas pela urbanização e a industrialização frente à disponibilidade de recursos hídricos é o aproveitamento de águas pluviais. Esta técnica é conhecida pela humanidade há milênios, e, devido a atual crise hídrica que afeta diversas localidades do Planeta, a captação de águas pluviais vem recebendo atenção de diversos países. Segundo Dornelles (2012, p. 7-8):

Nos países em desenvolvimento existem programas governamentais que incentivam o aproveitamento de água de chuva, especialmente para as suas populações rurais que não possuem acesso aos sistemas tradicionais de abastecimento de água. Já nos países desenvolvidos o incentivo é calcado nos benefícios ambientais que esta prática promove.

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

O Brasil é um país com abundância de riquezas naturais, e a água doce é uma das mais importantes. O território brasileiro possui cerca de 12% de toda a água doce existente no Planeta, entretanto esta água está irregularmente distribuída ao longo do seu território. A região Norte concentra aproximadamente 68% do volume de água doce do Brasil, todavia, esta Região possui a menor densidade demográfica do País, resultando em uma elevadíssima disponibilidade hídrica per capita. A região Nordeste, por sua vez, é a que apresenta menor disponibilidade hídrica per capita, insuficiente para suprir a demanda atual, caracterizando um problema crônico de abastecimento. A figura 1 expressa graficamente a disponibilidade hídrica (vazão disponível), a população e a área das principais bacias hidrográficas do Brasil.

Figura 1 – Regiões hidrográficas do Brasil



(fonte: CLARKE; KING, 2005, p. 95)

Historicamente, a escassez hídrica atingia unicamente a região Nordeste do Brasil. Entretanto, nos anos de 2014 e 2015 uma escassez hídrica notória passou a atingir estados da região Sudeste (que desde 2013 estão com baixos volumes de reservação de água), densamente povoados e pouco habituados com manejos de conservação e aproveitamento da água. Os reservatórios atingiram níveis preocupantes, deixando o governo e a população em alerta para um possível período de racionamento.

Em face à escassez de chuva e conseqüentemente da baixa disponibilidade hídrica que assolaram a região Sudeste do Brasil ao final do ano de 2014, o estado de São Paulo, por meio da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), visando reduzir o consumo de água pela população, e assim, evitar um iminente racionamento, aprovou a cobrança de uma tarifa de contingência. Esta modalidade de cobrança tarifária tem como objetivo penalizar usuários que ultrapassem o seu consumo médio registrado no ano anterior e bonificar aqueles usuários que consumirem menos que a média registrada neste mesmo período. Práticas como esta adotada pela Sabesp, podem vir a ocorrer com maior frequência no Brasil, e também em diversas regiões do mundo, tendo em vista a progressiva degradação dos recursos hídricos mundiais.

Tendo em vista crise hídrica que atinge a RMSP e a tarifa de contingência adotada pela Sabesp para conter o consumo de água potável, propõe-se neste trabalho a utilização de uma técnica de otimização do balanço de massa entres os reservatórios de água tratada, proveniente da rede pública de abastecimento, e de água de captação pluvial, para suprir a demanda por água não potável. A otimização teve como objetivo a obtenção de regras de utilização de água de chuva armazenada e da companhia de saneamento em função do mês do ano e nível atual do reservatório pluvial, visando obter o menor custo com a água adquirida junto a concessionária, minimizando as penalizações e maximizando as bonificações. Este projeto foi realizado por meio de simulações de implantação de um SAAC (Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva) em um Shopping Center hipotético, localizado na Região Metropolitana de São Paulo, que atualmente adota uma tarifa de contingência como medida de redução de consumo de água tratada. Esta metodologia poderá ser adaptada para qualquer região que venha a sofrer com crises de abastecimento de água, uma vez conhecidas as características hidrológicas, a configuração do SAAC e tarifas de água do local.

Nos capítulos seguintes deste trabalho são apresentadas, primeiramente no capítulo 2, as diretrizes de pesquisa que detalham como foi desenvolvido o trabalho. A seguir, no capítulo 3, são discutidos os diferentes sistemas de abastecimento de água e suas principais características.

O capítulo 4 discorre a respeito do sistema de aproveitamento de água de chuva (SAAC) como uma das alternativas aos sistemas tradicionais de abastecimento de água. Com enfoque no armazenamento da água de chuva, são apresentados os diversos modelos de cálculo recomendados para o dimensionamento do reservatório de água pluvial, item de maior relevância na composição de custos para implantação do SAAC.

O capítulo 5 versa sobre a metodologia empregada no trabalho, tais como a obtenção dos dados e parâmetros necessários para a modelagem, entre eles as séries de precipitações diárias, e as diferentes demandas por água. O capítulo encerra abordando a técnica de otimização empregada nas regras de utilização propostas no trabalho.

O capítulo 6 trata da aplicação metodológica onde são introduzidas as simulações propostas para o SAAC em um Shopping Center hipotético situado na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) onde é adotada a tarifa de contingência.

Após a consolidação dos dados levantados, o capítulo 6 descreve como foi feito o dimensionamento do reservatório de água de chuva, como foram desenvolvidas as regras de utilização otimizadas para o SAAC, além de descrever o funcionamento da tarifa de contingência aplicada na RMSP.

No capítulo 7 são apresentados e discutidos os resultados obtidos no trabalho, onde são comparados os custos totais com a água comprada da concessionária nas diferentes configurações do sistema, culminando na introdução das regras de utilização otimizadas para a série histórica no período crítico, sendo este o objetivo final do trabalho.

Por fim, no último capítulo são feitas as considerações finais a respeito do trabalho. Onde são apresentadas as conclusões sobre os objetivos do trabalho e respondida à questão da pesquisa, além de apontar as limitações encontradas durante o desenvolvimento.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

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

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: tendo em vista a tarifa de contingência vigente na Região Metropolitana de São Paulo, é possível otimizar o uso de um sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, visando o menor desembolso para pagamento da água da concessionária?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

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

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a verificação da possibilidade de otimização do consumo dos reservatórios de água potável, proveniente da rede pública de abastecimento, e o de água de captação pluvial, em face a tarifa de contingência, visando obter um mínimo gasto com tarifa, ao minimizar as penalizações e maximizar as bonificações, oferecidas pelo sistema. Avaliando o confronto entre os desembolsos anuais para a utilização de toda água pluvial armazenada e posteriormente como o uso “regrado” da água de chuva em função da disponibilidade.

2.3 HIPÓTESE

A hipótese do trabalho é que tendo em vista a tarifa de contingência vigente na Região Metropolitana de São Paulo, é possível otimizar o uso de um sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis visando a redução de custos com a tarifa de água tratada.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que a adoção de regras para otimizar o uso de água de chuva é vantajosa frente ao uso desregrado, uma vez que a tarifa de contingência penaliza ou bonifica consumos superiores ou inferiores aos valores médios, respectivamente.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a versar a respeito do uso de água em locais que adotam tarifa de contingência para o consumo de água da concessionária.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações da aplicação metodológica do trabalho:

- a) o estudo é sobre o consumo de água em um Shopping Center hipotético localizado na cidade de São Paulo/SP e com dados reais de um Shopping Center localizado na cidade de Londrina/PR;
- b) série histórica de precipitações (1888 a 2003) para a Estação Luz na cidade de São Paulo/SP;
- c) série de precipitações para o período crítico (2013 a 2015) para a Estação Mirante de Santana na cidade de São Paulo/SP;
- d) a não realização da análise de consistência entre estações;
- e) a não realização de testes de estacionariedade nas séries de precipitações utilizadas;
- f) a tarifa de contingência adotada pela Sabesp na RMSP;
- g) a não garantia de atingir-se o ótimo global pelo método de otimização adotado.

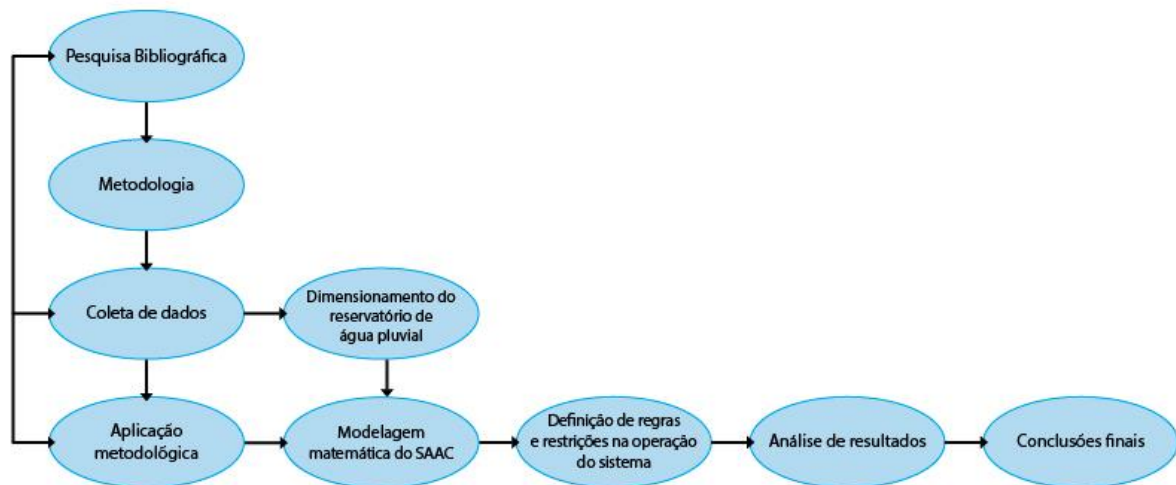
2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 2 e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) metodologia;
- c) coleta de dados;
- d) aplicação metodológica;
- e) dimensionamento do reservatório de água pluvial;

- f) modelagem matemática do SAAC;
- g) definição de regras e restrições na operação do sistema;
- h) análise de resultados;
- i) conclusões finais.

Figura 2 – Diagrama das etapas do trabalho



(fonte: elaborado pelo autor)

Primeiramente, foi realizada a **pesquisa bibliográfica** visando obter um profundo conhecimento e embasamento no assunto a ser estudado. Os principais assuntos objetos de pesquisa são:

- a) sistemas de abastecimento de água;
- b) aproveitamento de água de chuva;
- c) Região Metropolitana de São Paulo;
- d) otimização.

A etapa seguinte consistiu na **metodologia**, quando foram definidos os métodos de levantamento de dados, do dimensionamento do reservatório de água pluvial e otimização empregados nas diferentes simulações do projeto. Uma vez definidos os métodos aplicados no trabalho, a etapa posterior teve como objetivo a **aplicação metodológica**, onde foi definido o modelo do projeto estudado, bem como sua configuração e características. Definido o modelo do projeto, teve início a **coleta de dados**, que foram necessários para o dimensionamento do reservatório e as simulações de implantação do SAAC, bem como da **modelagem do método de otimização**. A próxima etapa foi a definição das regras e restrições na operação do sistema.

Uma vez concluídas as etapas anteriores, teve início a **modelagem do método de otimização**, onde, através dos dados de precipitação da série histórica e padrões de consumo de água do Shopping Center, foram realizadas diferentes simulações de implantação do SAAC, com o objetivo de encontrar regras de utilização otimizadas que, ao serem aplicadas no período crítico, apresentassem um menor desembolso com a água comprada da concessionária.

Após a conclusão das simulações foi realizada a **análise dos resultados** obtidos, onde comparou-se os desembolsos com água da concessionária obtidos nas diferentes configurações do sistema, tendo como principal resultado o benefício econômico com a otimização das regras de utilização frente ao uso desregulado. Finalmente, foram realizadas as **considerações finais**, onde foi feita uma análise global do trabalho realizado, apontando seus pontos positivos e negativos, limitações encontradas e possibilidade real de implantação do projeto.

3 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Desde os primórdios, a água tem sido vital para o desenvolvimento da sociedade. Com o desenvolvimento das diversas civilizações, as sociedades foram se tornando mais complexas e a garantia de sua sobrevivência passou a exigir, ao mesmo tempo, mais segurança no suprimento de água e maiores aportes tecnológicos que, por sua vez, também vieram a demandar maior quantidade de água.

3.1 HISTÓRICO

A história da humanidade está intimamente ligada à sua demanda por água. Esta demanda determinou a localização dos aglomerados urbanos, quando as populações abandonaram a vida nômade e passaram a viver em localidades fixas. A demanda por água já não se limitava a atender apenas indivíduos ou famílias, mas sim uma população numerosa, o que fez com que o suprimento requerido aumentasse drasticamente (HELLER; PÁDUA, 2006, p.34).

O desenvolvimento de sistemas de abastecimento de água exigiria não somente água em quantidade suficiente para atender as diversas demandas das sociedades, cada vez mais complexas, mas também que esta água chegasse aos consumidores em condições saudáveis, pois a água é um meio de transmissão de inúmeras doenças. A massificação dos sistemas de abastecimento de água teve grande impulso quando, em meados do século XVII, foi publicada pelo Dr. John Snow a pesquisa *Great Sanitary Awakening* (Grande Despertar Sanitário) que relacionava a epidemia de cólera com a contaminação fecal na água de abastecimento. Uma vez comprovada a disseminação de doenças pela veiculação hídrica, as autoridades responsáveis perceberam que o abastecimento era uma questão de saúde pública passando a exigir um rigoroso controle sanitário em seus sistemas de abastecimento de água (DORNELLES, 2012, p. 5)

No abastecimento de água, bem como políticas públicas em geral, não existe apenas uma solução para um dado problema. Algumas soluções são vistas como mais atrativas e evidentes, mas isso não impede que outras opções sejam adotadas. Na execução de um projeto é necessário vislumbrar mais de uma solução para um problema. Na engenharia é preciso ponderar os

aspectos positivos e negativos de cada possível solução. Na execução de um sistema de abastecimento de água, bem como demais obras de engenharia, a solução a ser adotada nem sempre é a mais econômica, a mais segura ou a mais moderna, mas aquela que se apresenta mais adequada à realidade social em que será inserida (HELLER; PÁDUA, 2006, p.65).

A Unicef (*United Nations Children's Fund*¹, 1978 apud HELLER; PÁDUA, 2006, p.65) define como tecnologia apropriada para o saneamento aquela que atenda as seguintes propriedades:

- a) higienicamente segura: que não contribua para disseminar enfermidades, que estimule hábitos sanitários e saudáveis, que evite riscos do trabalho e que seja ergonomicamente saudável;
- b) técnica e cientificamente satisfatória: que seria de funcionamento simples e de manutenção fácil, tecnicamente eficaz e eficiente, razoavelmente livre de riscos de acidentes e suficientemente adaptável a condições variáveis;
- c) social e culturalmente aceitável: que atenda às necessidades básicas da população, requeira uma alta densidade de mão-de-obra local, melhore e não substitua - na medida do possível atitudes e ofícios tradicionais e seja esteticamente satisfatória;
- d) inócua ao ambiente: que evite a contaminação ambiental, não altere o equilíbrio ecológico, contribua para a conservação dos recursos naturais, seja econômica no emprego de recursos não renováveis, recircule subprodutos e resíduos, enriqueça e não deprecie o ambiente;
- e) economicamente viável: que seja eficaz em função dos custos, preferencialmente adotando soluções de baixo custo e financeiramente viáveis; contribua para o desenvolvimento da indústria local, utilize materiais locais e seja econômica na utilização de energia.

3.2 SISTEMAS TRADICIONAIS

A crescente demanda e rigorosos critérios de potabilidade da água que passaram a vigorar com o desenvolvimento da sociedade exigiram que os sistemas de abastecimento de água captassem água bruta de mananciais superficiais (rios, lagos e reservatórios) e de fontes subterrâneas (aquíferos) (DORNELLES, 2012, p. 5). Estes sistemas, ditos tradicionais, decorrem da disponibilidade de exploração dos mananciais, que por séculos foram utilizados exaustivamente, sem a percepção de que a relação entre a oferta e a demanda de água é extremamente variável e função do conjunto de pressões relacionadas aos hábitos locais.

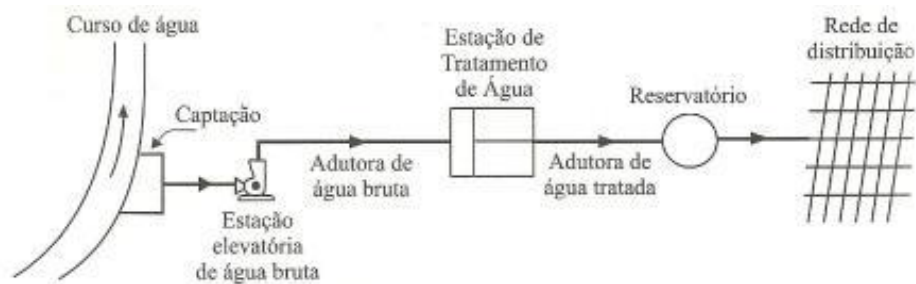
¹*United Nations Children's Fund* – UNICEF. Estudo conjunto UNICEF/OMS sobre o abastecimento de água e saneamento como componentes da atenção sanitária primária. UNICEF, 1978.

3.2.1 Concepção de Sistemas Tradicionais

De acordo com Tsutiya (2006, p. 15), a concepção dos sistemas de abastecimento de água é variável, em função da localidade, topografia e das características do manancial. De um modo geral, os sistemas convencionais de abastecimento de água são constituídos por um conjunto de componentes que englobam o manancial, a captação, as estações elevatórias, adutoras, estação de tratamento de água, reservatórios e a rede de distribuição, conforme apresentado nas Figuras 3 e 4.

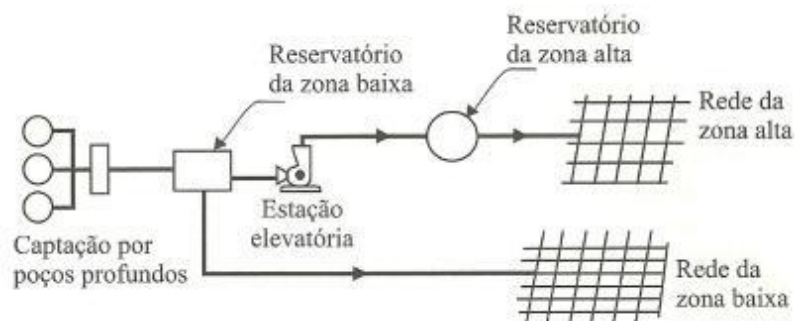
No sistema da figura 3 a captação se dá em um manancial superficial, enquanto que na figura 4 é apresentado um sistema de abastecimento de água com captação em manancial subterrâneo.

Figura 3 – Sistema simples de abastecimento de água



(fonte: TSUTIYA, 2006, p. 16)

Figura 4 – Sistema de abastecimento com captação subterrânea.



(fonte: ALBANEZE, 2012, p. 5)

3.2.2 Tarifa de Água Tratada

A tarifa da água ao consumidor é composta por 3 elementos: custos de operação e manutenção, custos econômicos (custos de oportunidades e externalidades econômicas) e externalidades ambientais. Tal composição da tarifa de água é relativamente nova, sendo aplicada, quase que exclusivamente, em países desenvolvidos. Logo, a tarifa de água passou a ser composta pela soma dos custos de operação e manutenção, incrementada pelos custos causados pelo aumento dos conflitos pelo uso da água, pela degradação da qualidade da água, pelos possíveis efeitos das alterações climáticas, e pela má gestão dos recursos hídricos. Portanto é possível concluir que a tarifa de água seguirá com uma tendência crescente e em breve se estenderá aos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, o que incentivará investimentos na implementação de sistemas de alternativos de abastecimento (DORNELLES, 2012, p. 18).

3.3 SISTEMAS ALTERNATIVOS

Em uma avaliação promovida pelas Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) identificou-se que 80 países, cerca de 40% da população mundial, enfrentam sérias dificuldades para manter sua disponibilidade de água. A crise hídrica é fato, e após décadas de descasos das autoridades e da população com o meio ambiente, uma nova política de desenvolvimento sustentável é obrigatória para a recuperação dos recursos hídricos do Planeta (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011, p. 69).

Tendo em vista a constante degradação dos mananciais, vítimas da exploração e descaso das autoridades competentes das grandes cidades, e também a indisponibilidade de aplicação dos sistemas convencionais em algumas localidades ao redor do Globo, técnicas alternativas de abastecimento estão ganhando atenção de diversos países. Dentre estas técnicas alternativas de abastecimento merecem destaque: sistemas de aproveitamento de água de chuva (será profundamente abordado no capítulo 4); água de reuso e sistemas de dessalinização.

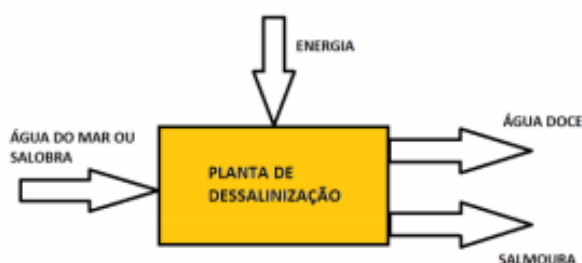
3.3.1 Dessalinização

A dessalinização para produção de água potável é uma técnica bastante utilizada em regiões com pouca disponibilidade de recursos hídricos, provendo o abastecimento de água de qualidade satisfatória, mesmo em condições pouco favoráveis. Este processo transforma a água

salgada ou salobra em água potável, retirando os sais e minerais dissolvidos (TORRI, 2015, p. 1).

Os processos de dessalinização requerem tecnologias da indústria química, onde uma corrente de água salina é alimentada no início do processo, então aplica-se energia na forma de calor, pressão ou eletricidade e duas correntes são produzidas: uma de água doce (dessalinizada) e outra com a concentração de sais extraídos que deve ser descartada em local adequado (TORRI, 2015, p. 9). Na figura 5 é apresentado um esquema simples de processo de dessalinização.

Figura 5 – Esquema simples de processo de dessalinização



(fonte: TORRI, 2015, p. 13)

Dentre as tecnologias mais utilizadas pode citar-se a de osmose inversa (tecnologia de membrana), a destilação multi-estágios e a destilação multi-efeitos (ambas tecnologias térmicas). A escolha da tecnologia é influenciada pela qualidade da fonte de água, energia demandada, custos, frequência do uso da unidade, volume de água a ser produzido, dentre outros fatores. Assim, não existe um método que seja melhor que os demais: cada um apresenta vantagens e desvantagens (YOUNOS; TULOU, 2005, p. 3).

O mercado da dessalinização está crescendo, impulsionado por diversos fatores: o alto custo e a menor disponibilidade de águas de superfície e águas subterrâneas, o crescimento da economia e da população em áreas que dependem da dessalinização para obtenção de água, o impacto das mudanças climáticas, o desejo das pessoas de viverem em cidades litorâneas, onde a água tem disponibilidade limitada e a diminuição dos custos necessários para a aplicação desta técnica (TORRI, 2015, p. 1).

3.3.2 Água de Reuso

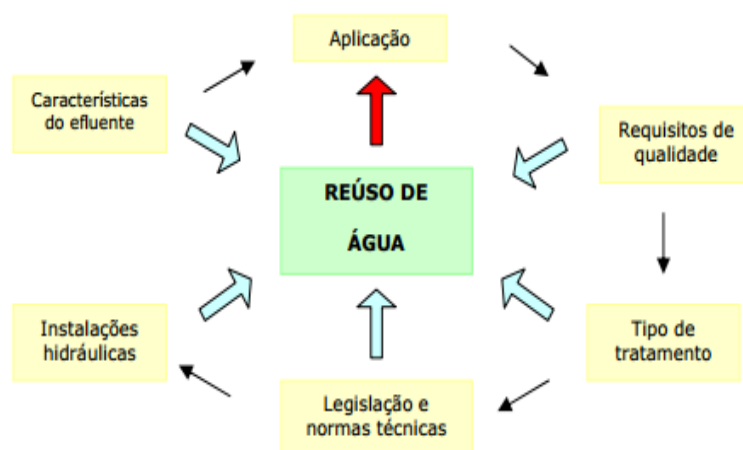
A reutilização de águas provenientes de esgotos tratados para fins não potáveis apresenta um enorme potencial para a conservação dos recursos hídricos. Removendo-se os organismos patogênicos, esta água, que normalmente é devolvida aos mananciais, pode ser utilizada em diversas atividades que não requerem potabilidade, tais como: irrigação de jardins, refrigeração de equipamentos industriais, limpeza pública, entre outros. (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011, p. 159)

Uma vez que o tratamento de águas de reuso é relativamente mais simples que o tratamento empregado nas estações de tratamento de água (ETAs), pois não requer potabilidade, o seu custo é bem inferior ao da água potável, tornando-se uma solução atrativa. O reuso apresenta-se como uma grande possibilidade na economia de água e na eliminação de desperdícios. (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011, p. 159)

Mendonça (2004, p. 23) classifica os efluentes domésticos em efluente preto (*blackwater*) e em efluente cinza (*greywater*). Para sistemas de reuso de água, conhecer o tipo de efluente é indispensável para a definição do tratamento a ser aplicado e o uso final que esse efluente poderá suprir. Os sistemas de reuso de água em edificações utilizam-se das águas cinzas que são provenientes de lavatórios, chuveiros, banheiras, máquinas e tanques de lavar roupas.

Para que sistemas de reuso de águas cinzas possam ser projetados e construídos de forma sustentável e eco eficiente, é necessário que uma série de fatores sejam verificados. Tais fatores são demonstrados na figura 6. A verificação destes fatores é realizada em análises socioeconômicas e ambientais para a implantação do sistema de reuso, de modo que o projeto atenda tais requisitos com segurança. (MENDONÇA, 2004, p. 22)

Figura 6 – Fatores para a implantação do reúso de água



(fonte: MENDONÇA, 2004, p. 22)

De acordo com May (2009, p. 75), um sistema de reúso de águas cinzas é composto pelos seguintes componentes:

- a) coletores: sistema de condutores horizontais e condutores verticais que transportam o efluente proveniente do chuveiro, do lavatório e da máquina de lavar roupas ao sistema de armazenamento, onde posteriormente e devidamente tratado.
- b) armazenamento: sistema composto por um ou mais reservatórios de acumulação onde serão armazenadas as águas cinzas provenientes dos coletores.
- c) tratamento: o sistema de tratamento das águas cinzas depende da qualidade da água coletada e do seu uso final. A escolha do processo de tratamento das águas cinzas a ser utilizado é de fundamental importância para o sucesso do projeto, logo a decisão deve ser criteriosa e fundamentada nas características do efluente a ser tratado.

4 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

O manejo e o aproveitamento da água de chuva para uso doméstico, industrial e agrícola estão adquirindo ênfase em várias partes do mundo, sendo considerado um meio simples e eficaz para atenuar o grave problema ambiental da crescente escassez de água para consumo.

4.1 USO DE ÁGUA DE CHUVA

Segundo Tomaz (2003, p. 25) a humanidade vem aproveitando a água da chuva para seu consumo há milênios. Há evidências comprovando que ao longo da história diversos povos ao redor do Planeta construíram reservatórios para o armazenamento da água da chuva. Um exemplo desta prática encontra-se na famosa fortaleza de Masada, em Israel, que possui 10 reservatórios escavados nas rochas, com uma capacidade total de 40 milhões de litros.

O abastecimento de água por captação de chuva sempre coexistiu com captações de águas superficiais e subterrâneas, apresentando um período de redução, que foi revertido devido às tendências de gestão dos recursos hídricos, atentando para a nova realidade da problemática ambiental. Atualmente a utilização de Sistemas de Aproveitamento de Água de Chuva (SAAC's) apresenta uma tendência de crescimento, uma vez que práticas de cunho ambientalista estão cada vez mais presentes nas atividades antrópicas, com o intuito de preservação ambiental (DORNELLES, 2012, p. 5).

Países industrializados, como a Alemanha, Japão e Estados Unidos, apresentam forte empenho no aproveitamento de água de chuva, desenvolvendo diversas pesquisas nessa área. Ademais diversas municipalidades de outros países, em conjunto com seus planos de desenvolvimento urbano, vêm disponibilizando manuais e guias para a implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais (TOMAZ, 2003, p. 26)

De acordo com Dornelles (2012, p. 7), grande parte das publicações referentes ao aproveitamento de águas pluviais, são provenientes de regiões com baixas precipitações anuais, em sua maioria menores que 1.000 milímetros por ano. Nesses locais de baixa pluviosidade, o objetivo principal na captação de água de chuva é garantir um suprimento mínimo de água para os períodos de estiagem.

Em países em desenvolvimento é comum a prática de incentivos governamentais na implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, especialmente em áreas rurais que não dispõem dos sistemas tradicionais de abastecimento de água. Países desenvolvidos também contam com incentivos do governo, entretanto o foco são os benefícios ambientalistas proporcionados por tal sistema (DORNELLES, 2012, p. 7).

No Brasil, um exemplo de incentivo governamental ao aproveitamento de água de chuva é o “Programa de formação e mobilização social para a convivência com o semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais”, que tem como objetivo a construção de cisternas para coleta de água de chuva, viabilizando o acesso à água para a população rural do semiárido brasileiro, área que abrange todos os estados da Região Nordeste (86,48%), a região setentrional do estado de Minas Gerais (11,01%) e o norte do Espírito Santo (2,51%), ocupando uma área total de 974.752 km² (ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO, 2003, p. 11).

De forma geral o aproveitamento de água pluvial em meio urbano é naturalmente incentivado pela potencial redução dos custos com a água proveniente da rede pública, sendo mais atrativo nas edificações industriais e comerciais, que apresentam maiores consumos de água não potável e as áreas de captação em comparação às edificações residenciais, promovendo um efeito de economia de escala, com a redução do tempo de retorno do investimento na instalação do sistema de aproveitamento (DORNELLES, 2012, p. 8).

4.2 COMPOSIÇÃO DO SISTEMA

De acordo com Dornelles (2012, p. 20), um sistema de aproveitamento de água de chuva é composto basicamente por 3 itens: superfície de captação com calhas de coleta, tubulações de condução e reservatório. A figura 7 exemplifica os itens básicos, juntamente com o fluxo da água no sistema, específico para o aproveitamento de águas pluviais em zona urbana, onde exista o abastecimento de água pela rede pública.

Segundo Leal² (2000 apud MAY 2004, p. 35), o sistema de aproveitamento de água de chuva apresenta o seguinte funcionamento: a água é coletada de áreas impermeáveis, em seguida, é filtrada e armazenada em reservatório(s) de acumulação, que pode ser apoiado, enterrado ou

² LEAL, U. **Ciclo da água na edificação**. Técnica, São Paulo/SP, v. 9, n. 48, p. 45-46, set/out. 2000.

elevado podendo ser constituído de diferentes materiais como: concreto armado, blocos de concreto, alvenaria de tijolos, aço, plástico, poliéster, polietileno e outros.

Figura 7 – Esquemática de um sistema de aproveitamento de água de chuva e seus fluxos de água

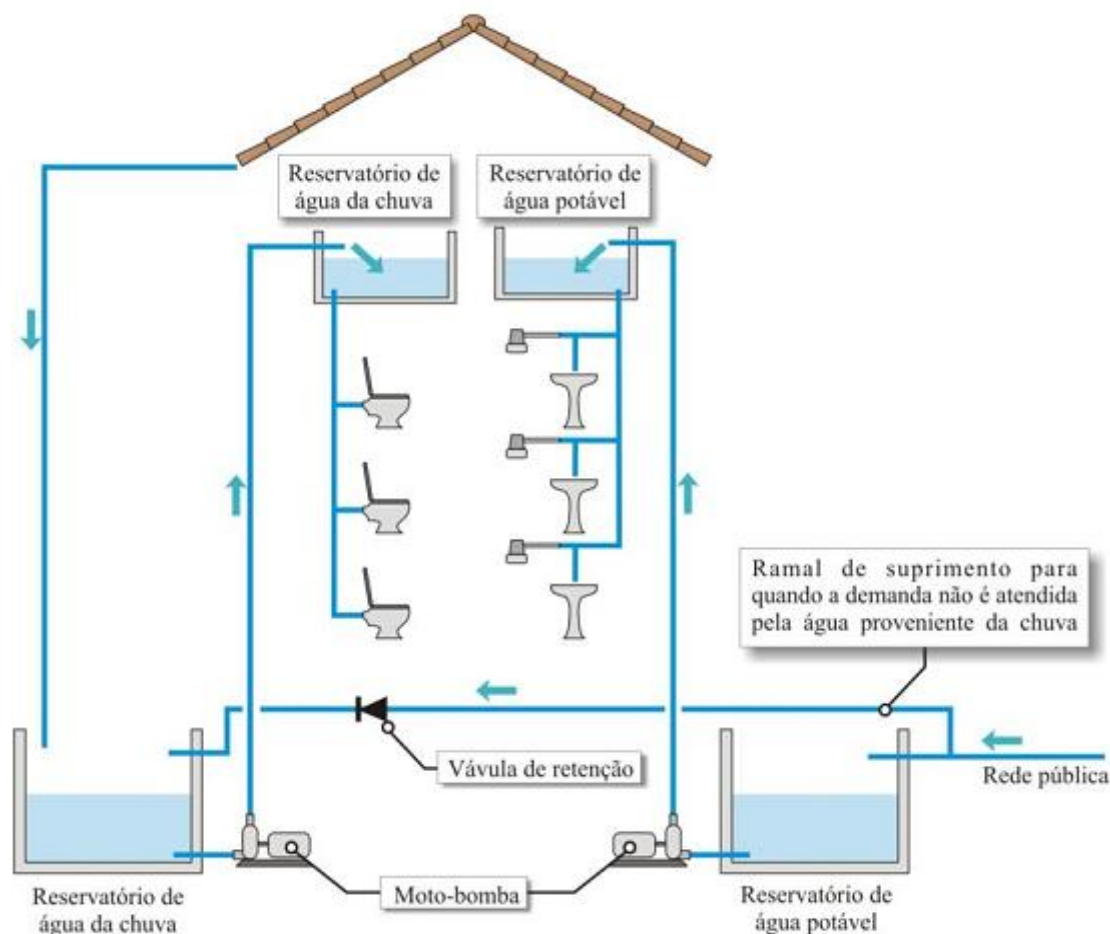


(fonte: MAY, 2004, p. 108)

Dornelles (2012, p. 22), alerta para a coexistência dos sistemas de abastecimento de água potável e de aproveitamento de água de chuva (esta configuração é exemplificada na figura 8).

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

Figura 8 – Exemplo de funcionamento de um sistema de aproveitamento de água de chuva combinado com abastecimento de água potável



(fonte: DORNELLES, 2012, p. 22)

4.2.1 Área de captação

O volume de água de chuva que pode ser armazenado depende de 3 fatores: da área de coleta, da precipitação atmosférica do local e do coeficiente de *Runoff*. Normalmente, a área de captação de água de chuva é o telhado ou a laje da edificação, dependendo do uso final da água coletada e do tratamento a ser aplicado. A captação pode ser efetuada através de superfícies impermeabilizadas, localizadas ao nível do chão tais como pátios, calçadas, estacionamentos, etc. Nas figuras 9 a 11 são apresentados exemplos de áreas de coleta de água de chuva: telhados, lajes e pátios, respectivamente (MAY, 2004, p. 36).

Figura 9 – Área de captação – telhado: comprimento x largura



(fonte: MAY, 2004, p. 36)

Figura 10 – Área de captação – laje: comprimento x largura



(fonte: MAY, 2004, p. 37)

Figura 11 – Área de captação – telhado e pátio: armazenamento em reservatório subterrâneo



(fonte: MAY, 2004, p. 37)

O material do qual é composta a área de captação interfere na qualidade da água captada. Para consumos não potáveis, os problemas causados pelo tipo de material das superfícies são principalmente de carácter estético, podendo atribuir alguma coloração à água.

O volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado, portanto, além da influência qualitativa, o tipo de material da área de captação também exerce influência na parcela de perda volumétrica de água captada. A perda ocorre na superfície da captação e é oriunda da saturação do material e da evaporação, consistindo em uma perda praticamente constante, sendo significativa apenas para as menores precipitações. Devem ser consideradas ainda perdas por vazamentos que porventura ocorram nas calhas (DORNELLES, 2012, p. 23).

Para representar estas perdas utiliza-se um coeficiente de *Runoff* (c), que indica a parcela efetiva da precipitação que é transformada em escoamento. A estimativa deste coeficiente apresenta alguns aspectos subjetivos, pois não existe um consenso em sua estimativa.

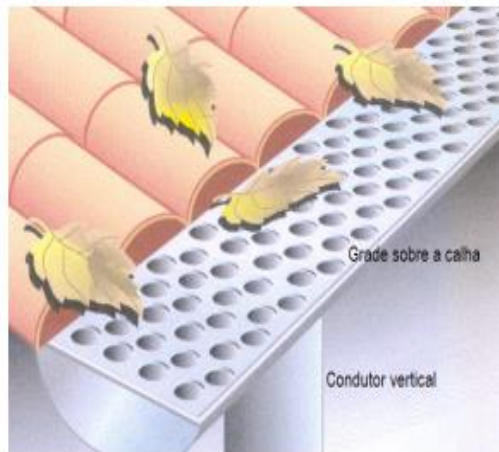
Devido à variabilidade do coeficiente, cabe ao projetista ponderar a determinação do coeficiente de *Runoff* (c), em função dos fatores de risco. Assim, para garantir que o sistema de aproveitamento de água pluvial atenda ao abastecimento demandado, deve-se optar por um valor mais baixo, e para atuar como um dispositivo de redução de alagamentos urbanos um valor mais alto. Podendo ainda, ser adotado um valor intermediário, que tenha compromisso em atender parcialmente ambos os quesitos (DORNELLES, 2012, p. 23).

4.2.2 Filtros, Grades e Dispositivos de Descarte

Para a utilização da água de chuva coletada, é necessária a remoção de sedimentos e detritos que são carregados juntos com o escoamento. Com esse propósito, é recomendada a instalação de dispositivos no sistema. Existem diversos tipos de dispositivos, que podem ser: manuais ou automáticos, de filtragem ou descarte, artesanais ou industrializados. Alguns exemplos desses dispositivos são apresentados nas figuras 12 a 15.

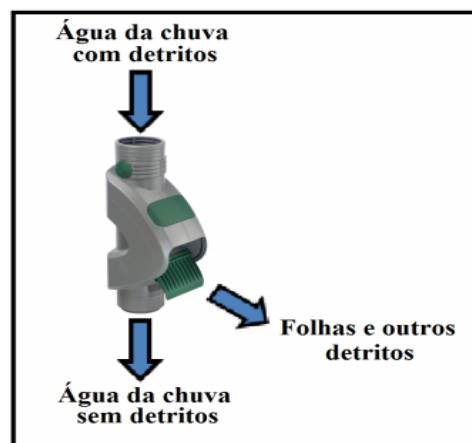
Existem ainda dispositivos responsáveis pelo pré-tratamento da água de chuva, como é o caso da caixa de areia, que aproveita todo o volume coletado (figura 14), e o reservatório de pré-tratamento por descarte do escoamento inicial (figura 15).

Figura 12 – Sistema de grade localizado sobre a calha



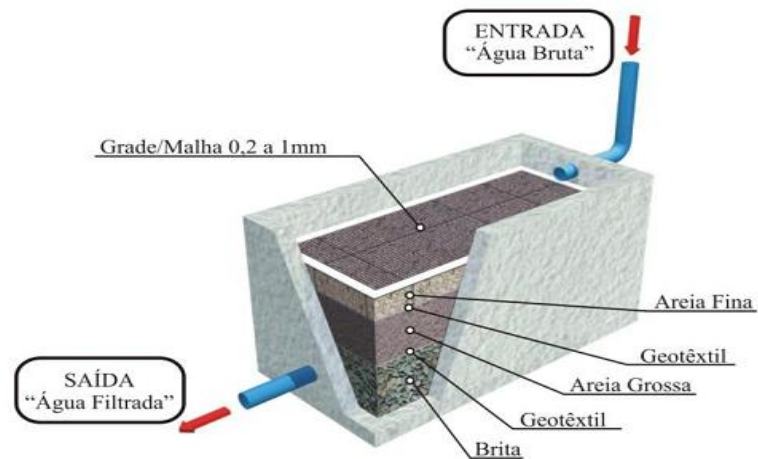
(fonte: MAY, 2004, p. 38)

Figura 13 – Filtro para condutor vertical



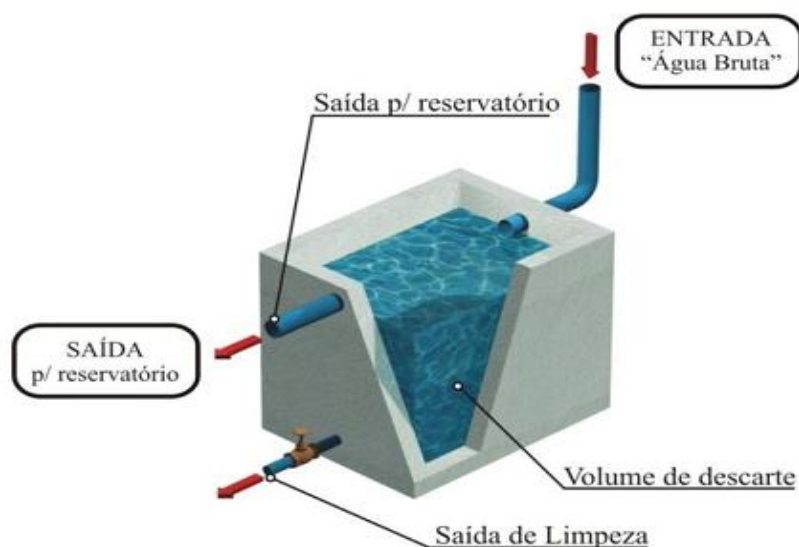
(fonte: adaptado de 3P TECHNIK, 2013)

Figura 14 – Caixa de areia para filtragem de água de chuva



(fonte: DORNELLES, 2012, p. 25)

Figura 15 – Reservatório de pré-tratamento por descarte de escoamento inicial



(fonte: DORNELLES, 2012, p. 25)

4.2.3 Armazenamento

A água de chuva captada é armazenada em um ou mais reservatórios, que podem ser compostos de diferentes materiais, tais como: fibra de vidro, metal, plástico ou concreto armado. Os reservatórios podem ser apontados como o componente de maior importância em um sistema de aproveitamento de água de chuva, pois na maioria dos projetos, representam o maior custo na implementação do sistema.

O volume requerido por reservatórios de água de chuva é, de modo geral, maior que o volume de reservatórios de água proveniente da rede de abastecimento, uma vez que a disponibilidade de chuva é mal distribuída no tempo. Para o correto dimensionamento dos reservatórios, é necessária uma boa estimativa dos usos e demandas, pois interferem diretamente no balanço de massa quando da simulação do funcionamento do sistema, o que reflete nas estimativas de nível de atendimento à demanda e na capacidade de retenção de água que seria lançada à rede pluvial. (DORNELLES, 2012, p. 26).

De acordo com Dornelles (2012, p. 36), os métodos de dimensionamento do reservatório para armazenamento de água de chuva recomendados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, apresentam resultados bastante distintos, mesmo utilizando as mesmas premissas de projeto. Esta grande divergência de resultados provenientes dos métodos recomendados pela NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 6-8) pode acarretar em um dimensionamento inadequado, uma vez que tais métodos não fornecem ao

projetista informações sobre qual dos métodos se adapta melhor as condições de contorno do projeto. A seguir são apresentados os métodos sugeridos pela NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 6-8).

4.2.3.1 Método Azevedo Neto

Trata-se de um método prático, que visa obter o volume de reservação diretamente de uma equação, sendo necessários 3 parâmetros. O volume é calculado de acordo com a equação da NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 7):

$$VR = 0,042. P. A. T \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

VR = volume do reservatório (L);

P = precipitação média anual (mm);

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

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

4.2.3.2 Método Prático Inglês

Neste método, o volume do reservatório é obtido pela aplicação de uma equação empírica, que adota diretamente 5% do volume anual de água pluvial captado. O volume é calculado de acordo com a equação 2 da NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 7):

$$VR = 0,05. P. A \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

P = precipitação média anual (mm);

A = área de captação (m²);

VR = volume do reservatório (L);

4.2.3.3 Método Prático Alemão

Este é um método empírico, que adota como volume de reservação o valor mínimo entre 6% da demanda anual ou 6% da disponibilidade de água de chuva. O volume é calculado de acordo com a equação 3 da NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 7):

$$VR = 0,6. [\min(P. A ; 365. D)] \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

P = precipitação média anual (mm);

A = área de captação (m²);

D = demanda diária (L/dia);

VR = volume do reservatório (L).

4.2.3.4 Método de Rippl

O método de Rippl, também chamado de diagrama de massa, é um procedimento originalmente gráfico, porém imolável matematicamente, onde a curva de volumes médios mensais acumulados é graficada ao longo de um ano hidrológico (DORNELLES, 2012, p. 37). Nesse método podem-se utilizar as séries de precipitações históricas mensais ou diárias. O volume é calculado de acordo com as equações 4, 5 e 6 da NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 9):

$$V_{(t-1)} = D(t) - Q(t) \quad (\text{equação 4})$$

$$Q(t) = c . \text{ precipitação da chuva}(t) . \text{ área de captação} \quad (\text{equação 5})$$

$$VR = \sum S(t), \text{ somente para valores } S(t) > 0 \quad (\text{equação 6})$$

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

Onde:

$V_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório no tempo t;

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

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

VR = volume do reservatório;

c = coeficiente de escoamento superficial.

4.2.3.5 Método as Simulação

Nesse método, os registros de precipitação são utilizados para simular o comportamento do volume de água no reservatório (balanço de massa). A evaporação da água não deve ser considerada. O volume é calculado de acordo com as equações 7 e 8 da NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 6):

$$S(t) = Q(t) + V_{(t-1)} - D(t) \quad (\text{equação 7})$$

$$Q(t) = c \cdot \text{precipitação da chuva}(t) \cdot \text{área de captação} \quad (\text{equação 8})$$

Sendo que: $0 \leq S(t) \leq V$

Onde:

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

$V_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório no tempo t - 1;

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

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

VR = volume do reservatório;

c = coeficiente de escoamento superficial.

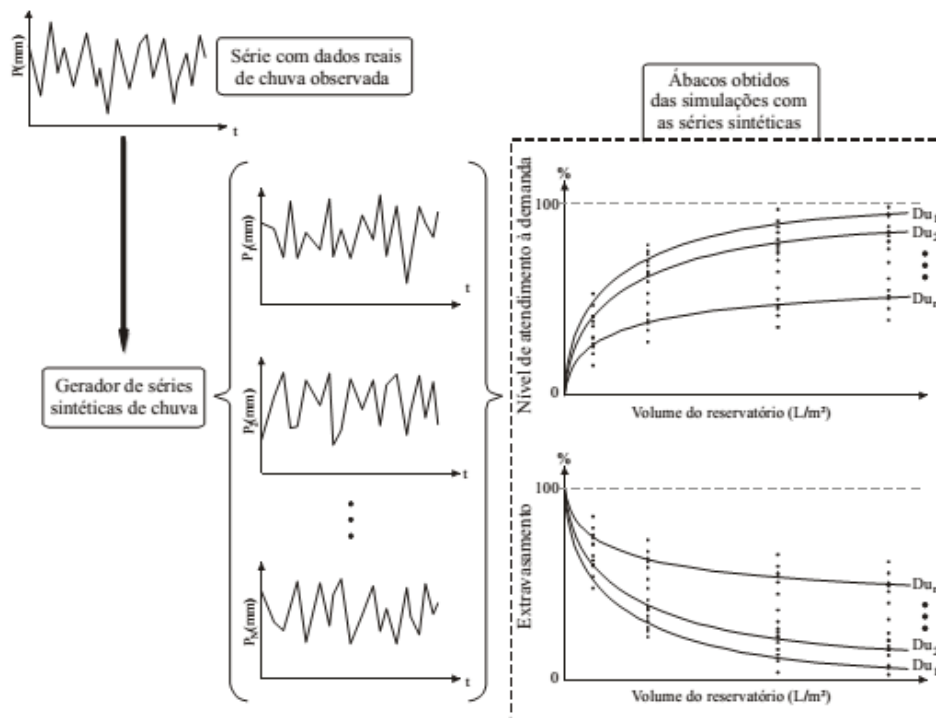
4.2.3.6 Método dos ábacos

Proposto por Dornelles (2012, p. 55), o método de dimensionamento de reservatório de aproveitamento de água de chuva por meio de ábacos é baseado no método da simulação, relacionando informações de demanda diária e de área de captação de chuva, é possível determinar o volume necessário de reservação, para que, o sistema de aproveitamento de água de chuva tenha determinado nível de atendimento à demanda ou de extravasamento Dornelles (2012, p. 55).

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

Na figura 16 é apresentado o processo de construção dos ábacos de dimensionamento.

Figura 16 – Processo de obtenção das curvas dos ábacos de dimensionamento para reservatório de aproveitamento de água de chuva



(fonte: DORNELLES, 2012, p. 56)

4.3 BENEFÍCIOS ECONÔMICOS

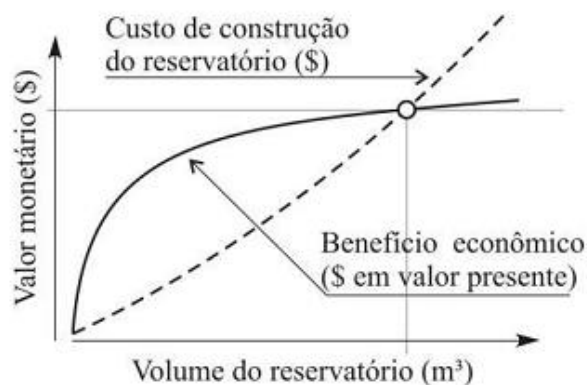
A estimativa do benefício econômico proporcionado pelos SAAC é notória, todavia, este benefício é específico para cada local e configuração de instalação do sistema, sendo assim de pouca valia a generalização dos resultados obtidos.

Estudos vinculados aos SAAC relacionam os benefícios econômicos com as características do sistema descritas nos próximos itens.

4.3.1 Capacidade de Reservação

A viabilidade econômica de um sistema de aproveitamento de água de chuva é diretamente influenciada pela capacidade de reservação de água, sendo a definição desta capacidade de reservação um dos principais desafios do projetista. Reservatórios de grande porte tendem a extravasar menos, por conseguinte, aumentando o volume de água aproveitada e reduzindo assim os custos com água tarifada. Contudo o custo de construção do reservatório é diretamente proporcional ao seu volume, exigindo assim a localização de um ponto ótimo, igualando o benefício econômico em valor presente, para um determinado tempo de retorno, ao custo de construção (figura 17).

Figura 17 – Benefício econômico e custo de construção em função da capacidade de reservação

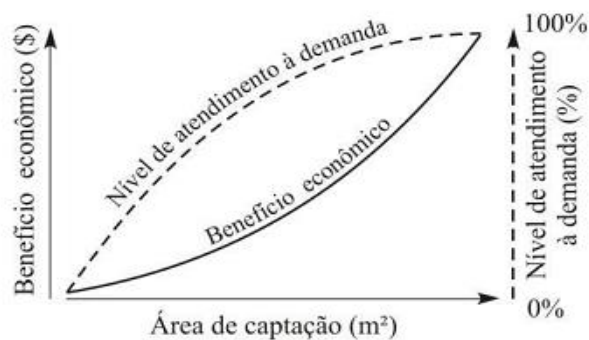


(fonte: DORNELLES, 2012, p. 11)

4.3.2 Área de captação

Grandes áreas de captação apresentam um nível elevado de atendimento a demanda, reduzindo assim os períodos de utilização da água tarifada proveniente da rede pública. Porém nesta situação o reservatório estará na maior parte do tempo perto do seu volume máximo, proporcionando frequentes extravasamentos, reduzindo assim o nível de aproveitamento (figura 18).

Figura 18 – Benefício econômico e nível de atendimento à demanda em função da área de captação

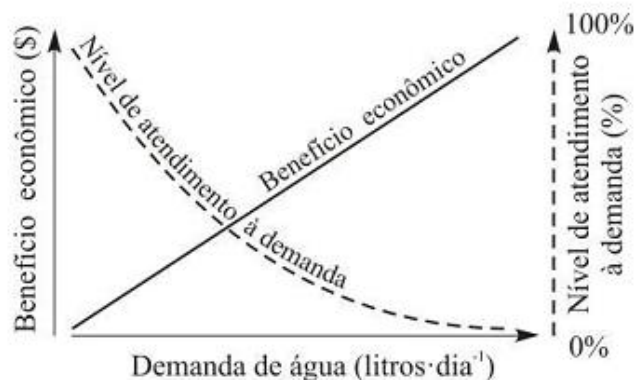


(fonte: DORNELLES, 2012, p. 11)

4.3.3 Demanda

Demandas equivalentes ou maiores que os volumes de água captados promovem a redução dos gastos com o consumo de água tarifada, por conseguinte reduzindo tempo de retorno financeiro. Porém o nível de atendimento à demanda é reduzido e assim, serão mais frequentes os períodos de esgotamento total da reserva de água de chuva captada (figura 19).

Figura 19 – Benefício econômico e custo de construção em função do nível de atendimento à demanda



(fonte: DORNELLES, 2012, p. 10)

5 METODOLOGIA

Este trabalho versa sobre a otimização do uso de água de chuva em regiões que eventualmente sofram com um período de escassez de água para seu abastecimento, sendo uma das medidas para reduzir o seu consumo de água tratada a adoção de uma tarifa de contingência. Tal tarifa tem como objetivo penalizar usuários que ultrapassem sua média de consumo registrada no ano anterior e bonificar os usuários que não ultrapassem tal média.

Visando a otimização do benefício econômico, propõem-se uma simulação por balanço de massas entre os reservatórios de água pluvial e água tratada, para suprir a demanda por água não potável em um empreendimento comercial, onde são avaliadas regras de utilização do sistema de aproveitamento de água de chuva, indicando para cada dia os volumes de água a serem utilizados do reservatório de água de chuva e da rede de abastecimento.

Tais regras são baseadas no nível atual do reservatório de água pluvial e no mês do ano, visando não apenas a redução da quantidade de água comprada da concessionária como também a maximização das bonificações e a minimização das penalizações impostas pela tarifa de contingência.

5.1 DADOS E PARÂMETROS NECESSÁRIOS PARA MODELAGEM

Nos capítulos anteriores foram abordados temas e conceitos básicos relevantes à compreensão de um SAAC. Neste capítulo são apresentadas informações sobre a série histórica diária de chuva, bem como a determinação dos parâmetros utilizados e o desenvolvimento do modelo.

5.1.1 Levantamento de Dados da Série Diária de Chuva

Para a elaboração do projeto proposto, é imprescindível a disponibilidade da série histórica de dados pluviométricos da região de estudo. No Brasil, é possível obter dados pluviométricos de órgãos federais como Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e também de órgãos estaduais e municipais.

Existem diferentes tipos de equipamentos utilizados na coleta de dados pluviométricos, dentre eles o mais relevante é o pluviômetro, aparelho totalizador que marca a altura de chuva total acumulada em um dado período de tempo. Este aparelho é usualmente utilizado na totalização da chuva diária e é operado por profissional especializado que geralmente reside nas proximidades da localização do aparelho. Podemos ainda destacar o pluviógrafo, este aparelho registra de forma automática as variações da precipitação ao longo do tempo, podendo ser digital ou gráfico, e é visitado periodicamente pela equipe responsável pela rede de aparelhos. (TUCCI, 1993, p. 182).

Um posto de medição de chuvas tem por objetivo a obtenção de uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos, ou o estudo da variação das intensidades de chuva ao longo das tormentas. Seja qual for o caso ou o aparelho utilizado nas medições, podem ocorrer a existência de períodos sem informações ou com falhas nas observações, devido a problemas com os aparelhos de registro e/ou com o operador do posto. Os dados coletados devem ser submetidos a uma análise antes de serem utilizados. Portanto, antes de proceder o tratamento estatísticos dos dados pluviométricos, é necessária a identificação e correção destes erros (TUCCI, 1993, p. 182).

Após a correção dos erros e o preenchimento de falhas da série, deve-se proceder uma análise quanto a sua consistência dentro de uma visão regional, comprovando o grau de homogeneidade dos dados disponíveis em um posto em relação aos dados obtidos em postos vizinhos. No Brasil o método mais utilizado para esta análise é o da Dupla Massa, porém ele é válido apenas para série mensais e anuais (TUCCI, 1993, p. 186).

Apesar da técnica de preenchimento de falhas ser frequentemente empregada, ela não é válida para a metodologia proposta para o presente trabalho, já que não é válida para dados pluviométricos com registro diário, que serão utilizados devido a rápida variação do nível do reservatório de água pluvial. Assim, optou-se por remover os anos com falhas significativas, sendo descartado o ano que apresentar em, ao menos, um mês 5 ou mais dias com falha de registro.

5.1.2 Definição do Método de Dimensionamento do Reservatório de Água Pluvial

Os métodos de dimensionamento do reservatório para armazenamento de água de chuva recomendados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, apresentam resultados bastante distintos, mesmo utilizando as mesmas premissas de projeto. A diversidade de métodos de dimensionamento pode acarretar em possíveis incertezas por parte do projetista que venha a elaborar um estudo de aproveitamento de água de chuva, este fato pode propagar incertezas na avaliação econômica do sistema, uma vez que o reservatório é o elemento mais significativo na composição de custos do sistema (DORNELLES, 2012, p. 39).

Sendo assim, optou-se pelo emprego do método dos ábacos, proposto por Dornelles (2012), uma vez que tal método fornece ao projetista informações a respeito da eficiência de atendimento à demanda por água não potável e volumes de extravasamento, em função das características do sistema de aproveitamento de água de chuva projetado.

5.1.3 Simulação do Reservatório do SAAC

Como visto no Capítulo 4, o volume de água de chuva armazenado não é o mesmo que o volume precipitado. Tal fato deve-se principalmente ao coeficiente de escoamento superficial da área de captação, da perda por evaporação e das perdas no pré-tratamento. A seguir é descrita a simulação de funcionamento do sistema de aproveitamento de água de chuva baseada em Dornelles (2012, p. 53). Na figura 20 é demonstrado o fluxo do balanço de massas para a simulação do SAAC

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

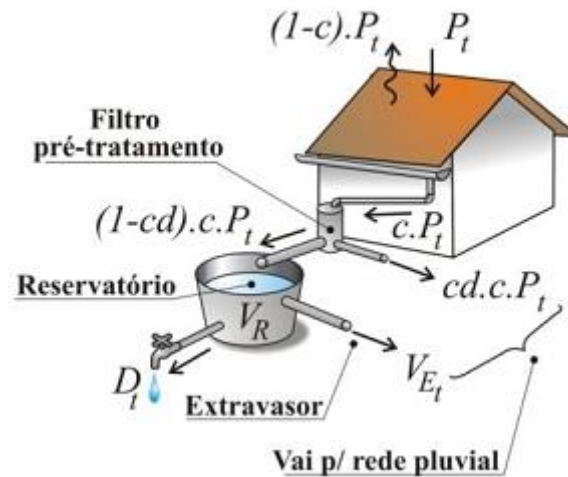
A partir da simulação obtém-se resultados de nível médio de atendimento à demanda e o percentual de extravasamento do sistema de aproveitamento de água de chuva para demandas fixas diárias por metro quadrado. Devido ao fato de empregar-se demandas fixas, o efeito da sazonalidade anual da demanda não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

Os fluxos da simulação são os seguintes parâmetros constantes:

- Coeficiente de escoamento e perdas na coleta e condução ao reservatório (c) = 0,95

- Coeficiente de descarte do filtro de pré-tratamento (cd) = 0,10
- Perda por evaporação no reservatório = zero
- Chuva significativa = 2mm

Figura 20 – Fluxos do balanço de massa para a simulação do SAAC



(fonte: DORNELLES, 2012, p. 53)

Para o cálculo do volume extravasado têm-se:

$$\text{Se: } V_{(t-1)} + (1-cd).c.Pd_{(t)} - D > VR \quad (\text{equação 9})$$

$$\text{então: } VE = V_{(t-1)} + (1-cd).c.Pd_{(t)} - D - VR \quad (\text{equação 10})$$

$$\text{senão: } VE = 0 \quad (\text{equação 11})$$

Onde:

c = coeficiente de escoamento telhado

cd = coeficiente de descarte do filtro de pré-tratamento

VR = capacidade do reservatório (L)

VE = volume extravasado (L)

Pd = precipitação diária (mm)

D = demanda diária (L/dia)

t = índice de tempo (dia)

5.1.4 Demandas

Assim como os dados históricos de precipitações, os dados das demandas por água são imprescindíveis para a modelagem do trabalho proposto. Essas demandas são então divididas em:

- a) demanda por água potável: atendida exclusivamente pela água proveniente de rede pública de abastecimento, atendendo aos parâmetros mínimos de potabilidade estabelecidos em lei.
- b) demanda por água não potável: atendida prioritariamente pelo reservatório do sistema de aproveitamento de água de chuva, e secundariamente pela rede pública de abastecimento de água, quando se fizer necessário. Exemplos de utilização de água não potável são a água destinada as bacias sanitárias, mictórios e sistema de resfriamento de ar condicionado.

Tais demandas apresentam sazonalidade, e representar este comportamento variável no tempo é importante na modelagem do trabalho. Assim a simulação deve sempre que possível adotar demanda sazonal para ser mais condizente com o comportamento real do sistema.

5.2 CENÁRIOS DE SIMULAÇÕES

Nesta etapa serão realizadas simulações de operação do sistema de aproveitamento de água de chuva em diferentes situações.

5.2.1 Simulação do SAAC sem Tarifa de Contingência

De posse dos dados de entrada, parte-se para a primeira simulação por balanço de massas, onde o reservatório de água pluvial inicia vazio. Assim que a água de chuva coletada é armazenada no reservatório, ela fica disponível para atender a demanda diária por água não potável. Caso o volume armazenado seja insuficiente para atender tal demanda, utiliza-se água da concessionária como complemento. Por outro lado, caso o volume de água armazenada seja

superior ao da demanda diária por água não potável, o volume excedente fica disponível no reservatório para o dia seguinte, quando o ciclo se repete.

Com a simulação por balanço de massas, é possível estimar os custos com a água da concessionária ao final do período de estudo. Neste levantamento é considerado o volume proveniente da demanda por água potável acrescido do volume de água não potável requerido pelo sistema quando o volume do reservatório de água pluvial não foi capaz de atender tal demanda. Este somatório de volumes é então multiplicado pela tarifa praticada pela concessionária para a obtenção do custo total com água da concessionária.

O montante obtido é então comparado aos custos com a água da concessionária antes da implementação do sistema de aproveitamento de água de chuva, onde toda a demanda de água seria suprida pela concessionária. Com isso seria possível realizar uma análise de retorno do investimento considerando os custos de implementação do SAAC, e a transformação da tarifa para VPL (Valor Presente Líquido), que não foi objeto deste trabalho, por considerar-se que tal análise cabe ao usuário que pretenda implementar um SAAC.

5.2.2 Simulação do SAAC com Tarifa de Contingência

Nesta etapa é implementada a tarifa de contingência, onde, a partir dos dados de volumes mensais de água adquirida junto à concessionária, calcula-se sua média, que serve de base para o cálculo da nova tarifa mensal, a qual segue as regras impostas pela concessionária. Caso o consumo mensal for maior que a média calculada, a tarifa sofre um acréscimo: se o consumo mensal sendo menor que a média calculada, a tarifa sofre um desconto. Esta medida, geralmente adotada com o intuito de reduzir o consumo, pode acarretar em resultados distintos em termos de custos, uma vez que a demanda apresenta sazonalidade com grandes variações.

Na hipótese de um consumidor apresentar meses com grandes variações de demandas, onde predominam meses com demandas muito abaixo da média, as bonificações tendem a se sobrepor as penalizações, gerando assim um benefício econômico.

Por outro lado, um consumidor que apresente uma demanda mensal predominantemente homogênea, caso tal demanda seja excedida por influências sazonais, ele será penalizado pela tarifa de contingência, e conseqüentemente sofrerá um aumento nas despesas com a água da concessionária.

5.2.3 Simulação do SAAC com Tarifa de Contingência e Regras de Utilização

A partir da adoção de uma tarifa de contingência, juntamente com a bonificação, idealiza-se um método de otimização de um SAAC, definindo-se regras de utilização através do balanço de massas entre os reservatórios, que possibilitem uma maximização dos bônus e minimização das penalizações.

Uma situação possível é o caso em que um mês tenha captação de água de chuva suficiente para ao término de período de medição do volume consumido estar em uma eminente bonificação, assim as regras de operação otimizadas poderão ser tais que reduzam o consumo de água de chuva, com um conseqüentemente aumento da complementação com água de concessionária, permitindo que haja água de chuva para que no próximo mês a bonificação tenha maior probabilidade de ser obtida e as penalizações possam ser evitadas.

As regras de utilização são em função do nível atual diário do reservatório de água pluvial, divididos em faixas de nível, combinadas com o mês do ano, gerando assim diversas possíveis combinações, as quais remetem a fatores multiplicadores que variam de 0 a 1, que representam a percentagem da demanda de água não potável diária a ser atendida pelo reservatório de armazenamento de água de chuva. Sendo 0 o atendimento a demanda totalmente pela concessionária e 1 atendimento total pelo SAAC.

Utilizando-se a série histórica de dados pluviométricos de uma determinada região, objetiva-se otimizar os fatores de multiplicação de 0 a 1 que são as regras de utilização, para que em face a tarifas de contingência, tais regras possam ser aplicadas e seja obtido o maior benefício econômico com o aproveitamento de água de chuva.

5.2.4 Simulação para o Período Crítico

Uma vez definidas as regras com dados da série histórica, verifica-se o comportamento da aplicação das regras para o período crítico (2013 a 2015). A verificação do comportamento das regras frente ao período crítico, o qual não fez parte da modelagem das regras, permitirá a avaliação da eficiência do sistema proposto e a possibilidade de implantação do mesmo frente a um período de estiagem futuro.

5.3 OTIMIZAÇÃO

Segundo Hüffner (2013, p. 23), técnicas de otimização tem por objetivo buscar uma solução que otimize uma determinada função objetivo e que represente matematicamente os objetivos de um sistema a serem otimizados. Tais técnicas apresentam, entre suas restrições, a representação do modelo matemático que simula o comportamento do sistema. Os modelos de otimização são formulados visando encontrar os valores de um conjunto de variáveis de decisão que otimizem (maximizem e minimizem) uma função objetivo sujeita a restrições. A função objetivo e as restrições são representadas por expressões matemáticas em função das variáveis de decisão. Em geral, os problemas de otimização são formulados matematicamente de acordo com as equações 12 e 13 (HÜFFNER, 2013, p. 23):

$$\text{Maximizar (ou minimizar) } z = f(x) \quad (\text{equação 12})$$

$$g_i(x) \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m \quad (\text{equação 13})$$

Onde $f(x)$ e $g(x)$ são funções de x com valores reais e os valores do vetor b_i são conhecidos. A restrição $g_i(x)$, $i=1,\dots,m$ determina a região viável das variáveis de decisão, e as variáveis de decisão (X) são os parâmetros cujos valores definem uma solução do problema.

Entretanto não existe um procedimento de otimização geral que possa resolver de forma eficiente qualquer tipo de problema. A maioria das técnicas de otimização são dependentes das formas e propriedades matemáticas da função objetivo e das restrições impostas.

A técnica de otimização empregada neste trabalho consiste em obter o conjunto ótimo das regras de operação do SAAC. Desta forma para a otimização dos fatores multiplicadores de 0 a 1 que representam a percentagem da demanda de água não potável diária que será atendida pelo reservatório de armazenamento de água de chuva, utilizou-se primeiramente a técnica de tentativa e erro, onde os coeficientes são variados manualmente até que seja encontrada a melhor combinação de coeficientes que resultam em um menor custo com a água comprada da concessionária.

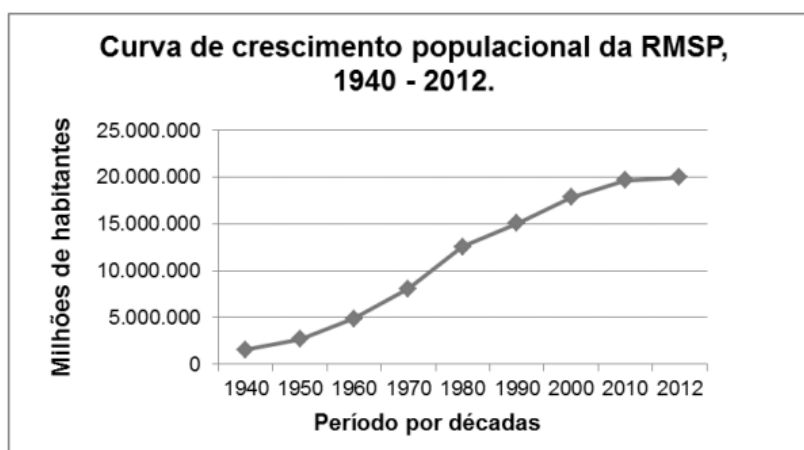
Após a conclusão desta etapa, faz-se uso da extensão *Solver* do software *MS EXCEL*, para um refinamento de resultados. Esta ferramenta permite encontrar um valor ótimo (máximo ou mínimo) para uma fórmula em uma célula, chamada célula de objetivo, conforme restrições, ou limites, sobre os valores de outras células de fórmula em uma planilha. O *Solver* trabalha com um grupo de células, chamadas variáveis de decisão ou simplesmente de células variáveis, que participam do cálculo das fórmulas nas células de objetivo e de restrição. O *Solver* ajusta os valores nas células variáveis de decisão para satisfazer aos limites sobre células de restrição e produzir o resultado que se deseja para a célula objetiva.

No caso da otimização de regras para uso de água de chuva, o valor a ser minimizado (célula objetivo) representa o custo total com a água comprada da concessionária, as células variáveis são os coeficientes multiplicadores que estão sujeitos as restrições de variação dos coeficientes entre 0 e 1.

6 APLICAÇÃO METODOLÓGICA: SIMULAÇÃO PARA UM SHOPPING CENTER NA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

A aplicação metodológica foi realizada tendo como objeto de estudo um Shopping Center hipotético localizado na região central da cidade de São Paulo - SP. Localizada na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, a região apresenta um crescimento populacional e uma demanda por água potável cada vez maior. Porém, a quantidade de água disponível está em estado crítico, podendo chegar a uma drástica situação limite. A Figura 21 apresenta a curva de crescimento populacional da RMSP no período de 1940 – 2012.

Figura 21 – Curva de crescimento populacional da RMSP, 1940 - 2012.



(fonte: SEADE [s.d.(b,c)] apud GAVIOLLI, 2013, p. 20)

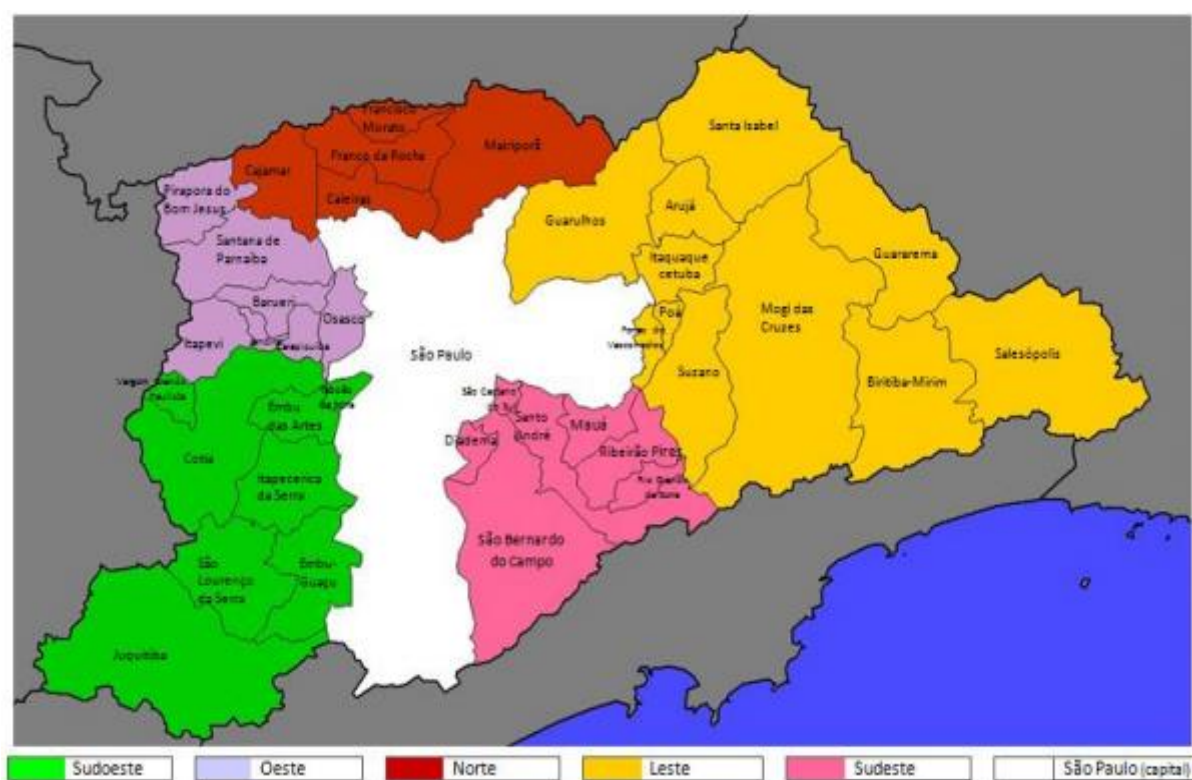
6.1 CARACTERIZAÇÃO DA RMSP

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é a maior metrópole do hemisfério sul e uma das 10 regiões metropolitanas mais populosas do mundo. Localizada na Região Sudeste do Brasil, constituída por 39 municípios, com uma área total de aproximadamente 7.900 km² e segundo estimativas populacionais do IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014) possui uma população de 20.935.204 habitantes.

Segundo Gaviolli, (2013, p. 63), atualmente, os municípios da Região Metropolitana de São Paulo estão divididos em 6 sub-regiões, mantendo os seus limites territoriais, representados na figura 22.

- a) **Norte:** Caieiras, Cajamar, Francisco Morato, Franco da Rocha e Mairiporã;
- b) **Leste:** Arujá, Biritiba-Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Guarulhos, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Poá, Salesópolis, Santa Isabel e Suzano;
- c) **Sudeste:** Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul;
- d) **Sudoeste:** Cotia, Embu, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra; Juquitiba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista;
- e) **Oeste:** Barueri, Carapicuíba, Itapevi, Jandira, Osasco, Pirapora do Bom Jesus e Santana de Parnaíba.
- f) **Município de São Paulo.**

Figura 22 – Região Metropolitana de São Paulo e sub-regiões



(fonte: GAVIOLLI, 2013, p. 64)

6.2 ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA RMSP

O órgão responsável pelo abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo é a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) o qual é resultante da fusão de vários órgãos que atuavam na prestação de serviços de água e esgotos na capital, a Companhia Metropolitana de Águas de São Paulo (Comasp), a Companhia Metropolitana de

Saneamento de São Paulo (Sanesp) e a Superintendência de Água e Esgoto da Capital (Saec). Foi criada com o objetivo de planejar, executar e operar serviços públicos de saneamento básico em todo o território do Estado de São Paulo, respeitando a autonomia dos municípios (GAVIOLLI, 2013, p. 55).

O Sistema Integrado Metropolitano (SIM) da Sabesp é responsável pelo abastecimento de água da Região Metropolitana de São Paulo, por meio da produção e transporte de água potável para cerca de 20 milhões de habitantes distribuídos em 35 dos 39 municípios da RMSP. O SIM é composto pelos seguintes Sistemas Produtores: Alto e Baixo Cotia, Alto Tietê, Guarapiranga, Rio Claro, Rio Grande, Ribeirão da Estiva, Embú-Guaçu e Cantareira (SELUCHI, M.; NOBRE, P, 2015, p. 7). Dentre estes sistemas, o que merece atenção especial é o Sistema Cantareira.

De acordo com o relatório “Crise Hídrica, Estratégia e Soluções da Sabesp” (SELUCHI, M.; NOBRE, P, 2015, p. 8).

“O Sistema Cantareira foi implantado em 1973 e abastecia antes da crise a aproximadamente 9 milhões de habitantes da RMSP. É composto pelas represas Jaguari/Jacareí, Cachoeira, Atibainha, Paiva Castro e Águas Claras. A capacidade de produção de sua estação de tratamento de água - ETA Guaraú - alcança 33 m³/s, atendendo cerca de 47% da demanda da RMSP e 65% da demanda do município de São Paulo (posição de Dez/13).”.

6.2.1 Crise Hídrica na RMSP

Apesar de estar situada em uma parte úmida do país e ter uma oferta relativamente grande de água, a disponibilidade hídrica *per capita* da RMSP é baixa em razão do alto consumo de água pela população. A RMSP apresenta uma baixa disponibilidade hídrica *per capita*, cerca de 133 m³/ano, comparável a regiões das secas do nordeste brasileiro, enquanto sua demanda hídrica *per capita* é de aproximadamente 189 m³/ano (SILVA³; PORTO, 2013 *apud* GAVIOLLI, 2013, p. 20). Uma severa crise de abastecimento de água assolou a RMSP entre 2014 e 2015. As causas de crise foram derivadas de diversos fatores, tais como: a elevada densidade demográfica, alto grau de urbanização, mudanças climáticas, falta de planejamento integrado metropolitano e a degradação dos mananciais pelo despejo de esgoto não tratado.

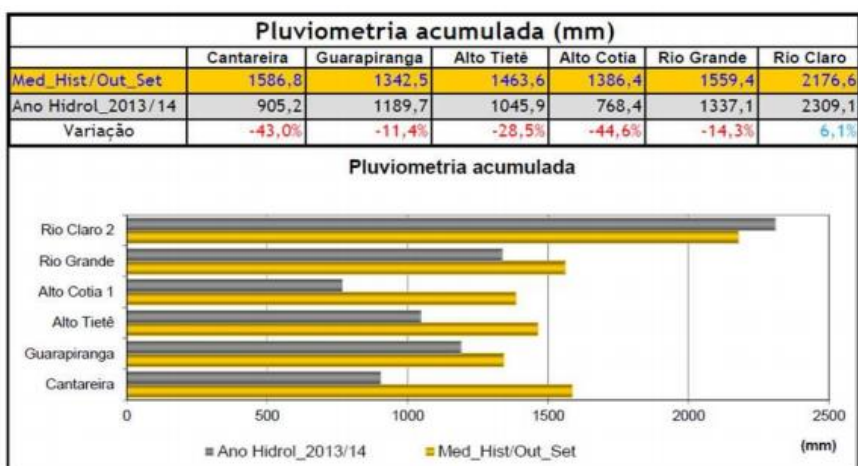
³ SILVA, R. T.; PORTO, M. F. A. **Gestão urbana e gestão de águas: caminhos da integração.** Estudos Avançados São Paulo/SP, v. 17, n. 47, abr. 2003.

Tundisi e Matsumura –Tundisi (2011, p. 98) apresentaram fatores relevantes para amenizar o risco da eminente crise que estava por vir. Infelizmente tais medidas não foram adotadas em sua totalidade pelos responsáveis, e a crise não tardou a ser uma realidade.

- a) Proteção dos mananciais de águas superficiais e controle do crescimento urbano desordenado que afeta os mananciais.
- b) Necessidade de implementação de programa de reuso da água, principalmente para fins industriais.
- c) Tratamento de esgotos, com aumento dos volumes das águas tratadas e coleta de esgotos em larga escala.
- d) Redução dos custos de tratamento a partir da proteção dos mananciais e introdução de programas educativos e de conservação de água.
- e) Ampliação dos serviços de distribuição para todas as áreas da Região Metropolitana de São Paulo.
- f) Detalhamento do banco de dados e promoção de sistemas de informação e sistemas de suporte a decisão.
- g) Implantação de programas efetivos de monitoramento e proteção das áreas vulneráveis.
- h) Treinamento e atualização permanente de técnicos e gerentes.
- i) Diminuição do desperdício na distribuição.
- j) Ampliação da capacidade da gestão preditiva e de antecipação de eventos de alto risco.

A baixa precipitação pluviométrica registrada ao longo do ano de 2014 (figura 23), fez com que a crise se agravasse, chegando ao seu estado crítico em 21 de outubro de 2014, quando o Sistema Cantareira registrou um volume de apenas 3,3% de sua capacidade (figura 24). Em meio a uma crise hídrica histórica, a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) viu-se obrigada a adotar uma série de medidas para amenizar a situação e evitar um colapso no abastecimento de água da RMSP.

Figura 23 – Dados pluviométricos dos mananciais da RMSP relativos ao ano hidrológico 2013/2014



(fonte: SELUCHI; NOBRE, 2015, p. 10)

Figura 24 – Dados do Sistema Cantareira em 21 de outubro de 2014

:: Data: 21/10/2014 :: Nova Data: Dia Mês Ano



(fonte: COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2014)

“Frente à criticidade da situação, a Sabesp adotou uma série de medidas estratégicas que resultaram na queda de 30% da retirada de água dos mananciais da Grande São Paulo – de 71 m³/s em janeiro de 2014 para 50 m³/s em fevereiro de 2015. O Sistema Cantareira, mais gravemente impactado, foi o que recebeu maior atenção, sendo que sua contribuição para o abastecimento da metrópole apresentou queda de 56% na produção de água – de 33 m³/s no início da crise para 14 m³/s, em março de 2015.”

Principais medidas adotadas pela Sabesp para conter a crise (SELUCHI, M.; NOBRE, P, 2015, p. 13-23):

- gestão de Consumo dos Clientes (Programa de Bônus);
- transferência de água tratada de outros Sistemas Produtores;
- intensificação do Programa de Combate às Perdas;

utilização de Reservas Técnicas;
ações institucionais.
redução da pressão na rede

6.3 CARACTERÍSTICAS E DADOS DO SHOPPING CENTER

Visando um exemplo prático para a aplicação da metodologia proposta, optou-se pela simulação do sistema de aproveitamento de água de chuva em um Shopping Center hipotético, uma vez que este apresenta altas demandas por água potável e não potável, além de possuir grande área de captação. Assim, buscou-se um empreendimento que tivesse dados de demandas mensais disponíveis, mesmo que não fossem na RMSP, mas que pudessem ser adotados na aplicação metodológica deste trabalho. Achou-se então dados disponíveis para um Shopping Center localizada na cidade de Londrina/PR. Desta forma assumiu-se que os dados deste empreendimento são semelhantes aos de um empreendimento com as mesmas características na RMSP, uma vez que o clima e o regime hidrológico são semelhantes para as duas regiões.

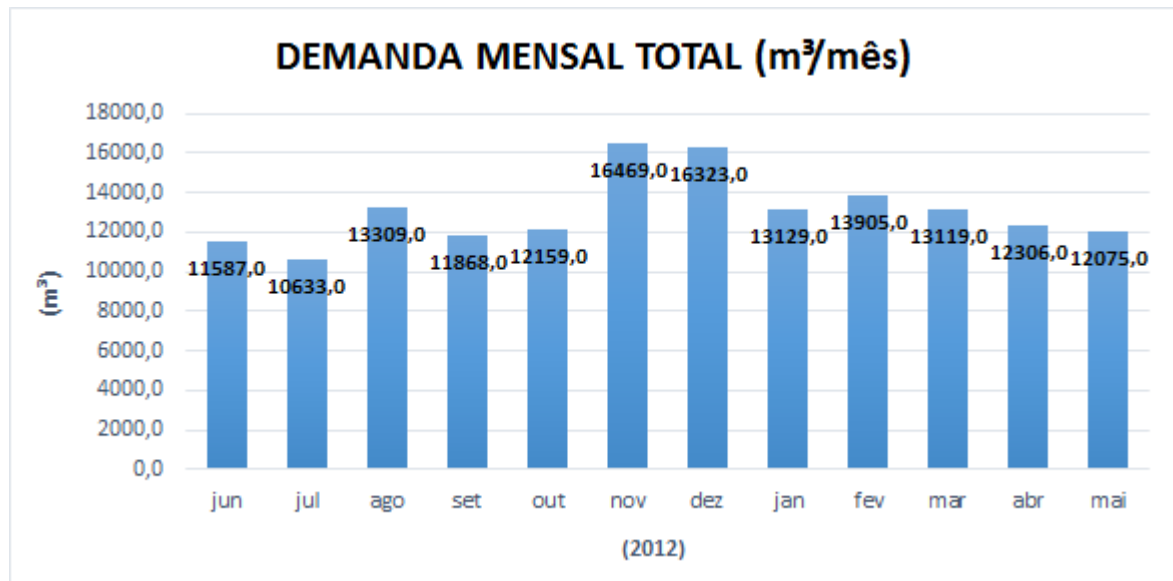
As características e os dados de consumo de um Shopping Center, foram adaptados de Gois (2015, p. 34-49). O Shopping Center possui 135.000 m² de área construída, tendo uma área bruta locável (ABL) de 82.000 m² e um telhado (área de captação) de 50.000 m². O estabelecimento possui 299 lojas, 2 praças de alimentação, 6 salas de cinema, boliche, centro de diversões e serviços, contando com 2.800 empregados fixos e uma média de 815.000 mensais.

O Shopping Center possui 7 banheiros masculinos e 7 banheiros femininos, sendo considerado 7 banheiros no total, uma vez que o projeto considera cada banheiro como um par masculino – feminino. O sistema de ar condicionado central utiliza 6 terminais de resfriamento.

6.3.1 Demanda Total de Água

Os consumos de água do Shopping Center são sazonais e apresentam uma média mensal de 13.074 m³/mês e um consumo anual total de 156.880 m³/ano, sendo o pico de consumo nos meses de novembro e dezembro. Os dados de consumo geral de água datam de janeiro de 2012 a dezembro de 2012, abrangendo as demandas por água potável e não potável que podem ser visualizados na figura 25.

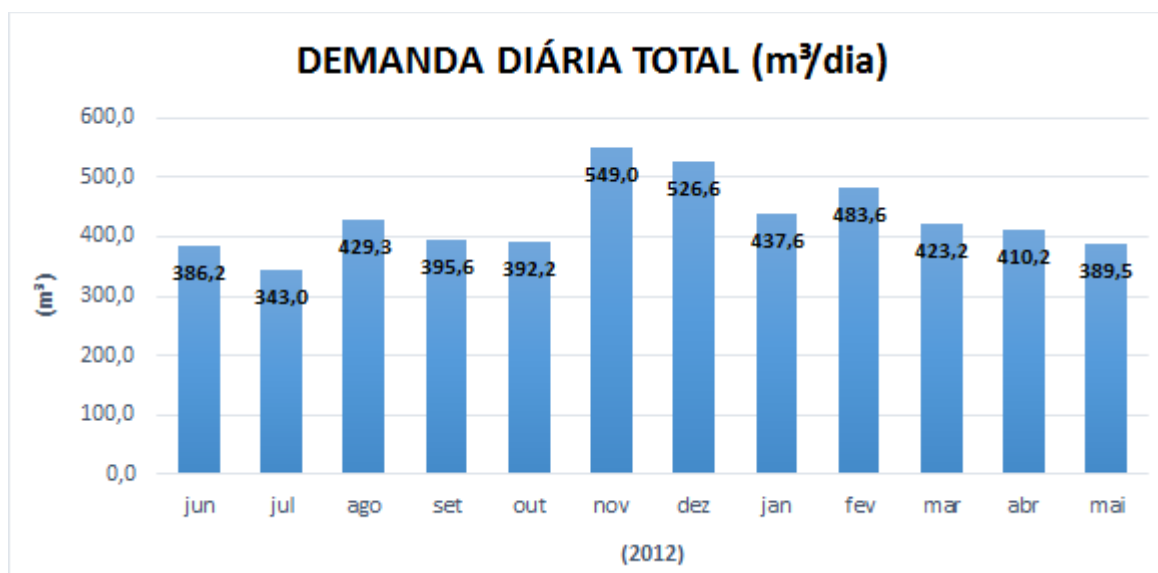
Figura 25 – Demanda mensal total de 2012



fonte: (adaptado de GOIS, 2015)

Tendo em vista que a simulação proposta é realizada a partir de um balanço de massas diário, fez-se necessário a conversão da demanda mensal total para demanda diária total, que apresentou uma média de consumo diária de 430,5 m³/dia. A figura 26 demonstra as demandas diárias médias totais registradas no ano de 2012.

Figura 26 – Demanda diária total de 2012



fonte: (adaptado de GOIS, 2015)

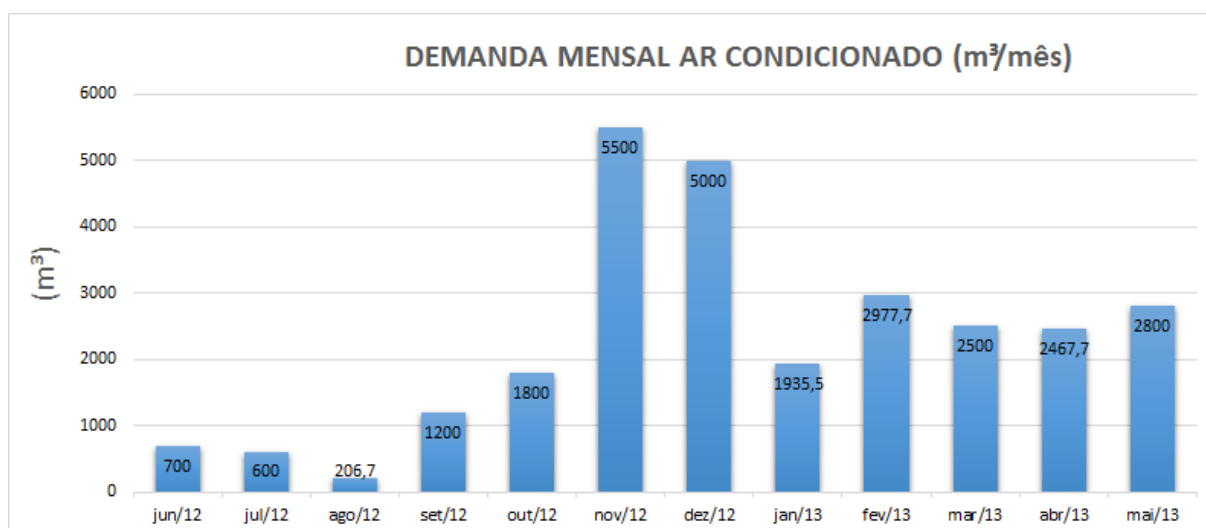
6.3.2 Demanda de Água Não Potável

A demanda por água não potável é um dos principais dados de entrada no desenvolvimento do projeto. Foram considerados para a obtenção desta demanda os consumos dos aparelhos sanitários, bem como dos mictórios dos 7 pares de banheiros do Shopping Center, juntamente com o consumo dos 6 terminais de resfriamento do sistema de ar condicionado, os quais devido as estações do ano apresentam grande variação sazonal.

O consumo registrado pelos hidrômetros dos 7 pares de banheiros entre março de 2012 e maio de 2013 apresentaram uma média diária de 106,4 m³/dia. Segundo Santo e Sanches (2001) o consumo total dos lavatórios (água potável) é de 25% do consumo total dos sanitários, por conseguinte a demanda por água não potável referente às bacias sanitárias e aos mictórios foi de 79,8 m³/dia e foi considerada constante no desenvolvimento do trabalho.

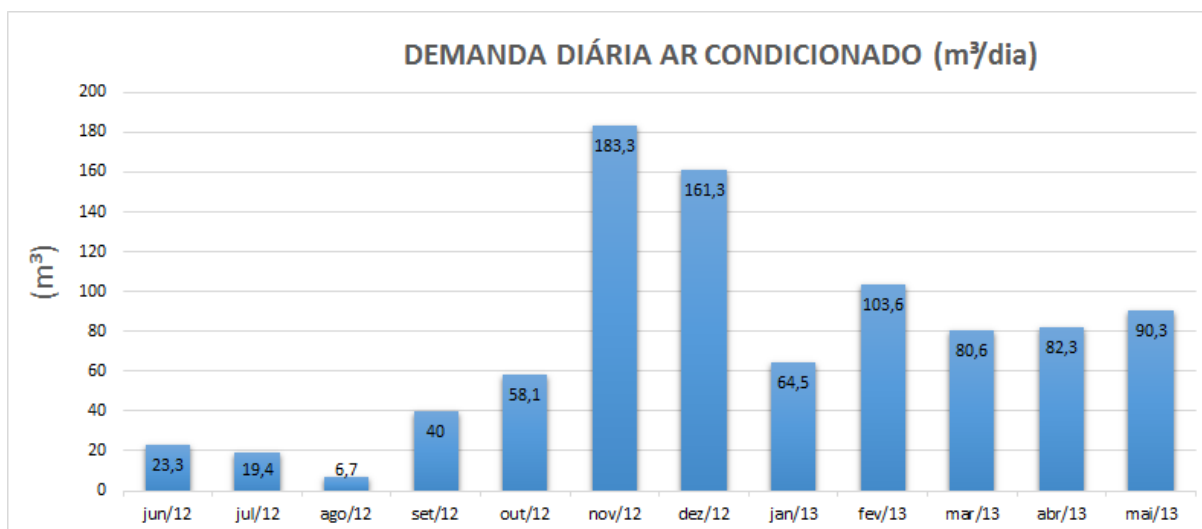
A demanda por água não potável referente aos 6 terminais de resfriamento do sistema de ar condicionado foi registrada no período de junho de 2012 a maio de 2013, apresentando grande variação mensal, com pico acima de 5.000 m³/mês nos meses de novembro e dezembro e uma média mensal de 2.040 m³/mês. As figuras 27 e 28 ilustram o consumo mensal e diário do sistema de ar condicionado, respectivamente.

Figura 27 – Demanda mensal ar condicionado de junho de 2012 a maio de 2013



fonte: (adaptado de GOIS, 2015)

Figura 28 – Demanda diária ar condicionado de junho de 2012 a maio de 2013



fonte: (adaptado de GOIS, 2015)

6.3.3 Quadro Geral de Demandas Diárias

De posse das demandas diárias totais e demandas diárias de água não potável elaborou-se o quadro geral de demandas para o Shopping Center, onde temos que a demanda por água potável é a diferença entre a demanda total e a demanda por água não potável (bacias sanitárias + mictórios + ar condicionado), descritas para os 12 meses do ano. Na tabela 1 é apresentado o quadro geral de demandas diárias.

Tabela 1– Quadro geral de demandas diárias do Shopping Center

DEMANDA DIÁRIA DE ÁGUA (m³)			
MÊS	POTÁVEL	NÃO POTÁVEL	TOTAL
janeiro	293,3	144,3	437,6
fevereiro	300,3	183,4	483,6
março	262,8	160,4	423,2
abril	248,1	162,1	410,2
maio	219,4	170,1	389,5
junho	283,1	103,1	386,2
julho	243,9	99,2	343,0
agosto	342,9	86,5	429,3
setembro	275,8	119,8	395,6
outubro	254,4	137,9	392,2
novembro	285,8	263,1	549,0
dezembro	285,5	241,1	526,6
MÉDIA	274,6	155,9	430,5

fonte: (elaborado pelo autor)

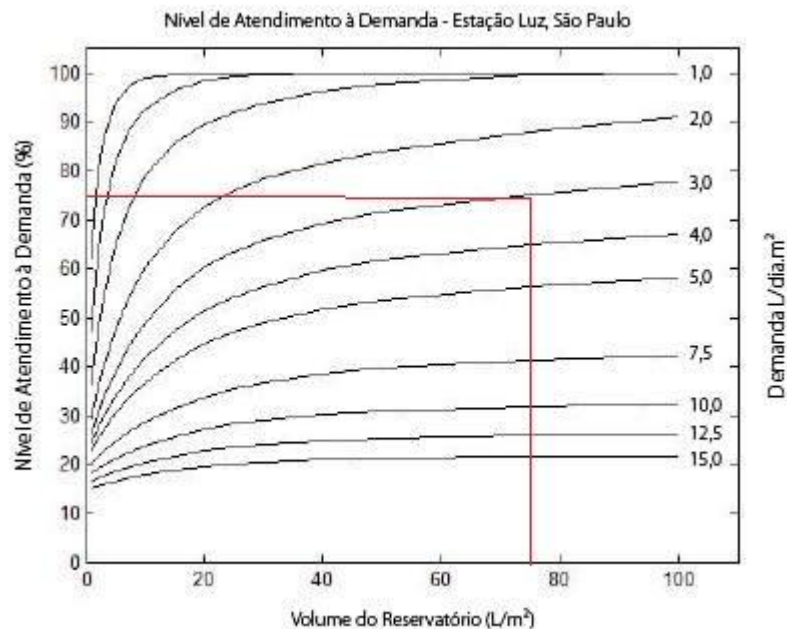
6.4 DIMENSIONAMENTO RESERVATÓRIO DE ÁGUA PLUVIAL

O dimensionamento do reservatório de água pluvial foi feito pelo método dos ábacos (Dornelles, 2012, p. 215), para a cidade de São Paulo/SP. Para a aplicação do método foi necessário estabelecer:

- a) área de captação: 50.000 m²
- b) demanda diária por água não potável: 155.900 Litros
- c) nível de atendimento a demanda: 75,2%

O nível de atendimento a demanda foi fixado em 75,2% pois a partir deste valor um pequeno aumento no nível de atendimento acarretaria em um grande acréscimo no volume do reservatório, elevando custos de implantação do sistema. Entrando com os respectivos valores nos os ábacos obteve-se um reservatório de 3.750 m³. A aplicação do método pode ser visualizada na figura 29.

Figura 29 – Ábaco de dimensionamento reservatório de água de chuva – São Paulo/SP



fonte: (adaptado de Dornelles, 2012, p. 215)

6.5 REGRAS DE OTIMIZAÇÃO

As regras utilizadas na otimização são definidas de acordo com o nível atual diário do reservatório de água pluvial, dividido em 5 faixas de nível, a saber: 1- (0% a 20%), 2- (20% a 40%), 3- (40% a 60%), 4- (60% a 80%) e 5- (80% a 100%), combinadas com os 12 meses do ano, gerando assim 60 possíveis combinações, as quais remetem a fatores que variam de 0 a 1, que representam a percentagem da demanda de água não potável diária a ser atendida pelo reservatório de armazenamento de água de chuva

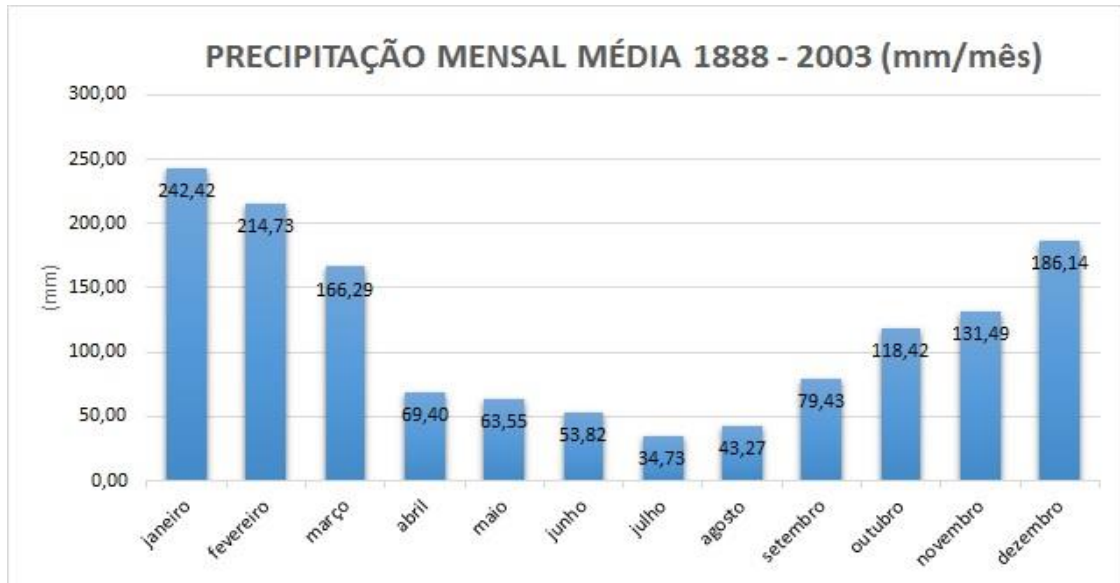
6.6 LEVANTAMENTO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS DIÁRIOS

O modelo proposto neste trabalho utilizou em sua modelagem dados de uma série histórica diária de chuvas de 115 anos (de 1888 a 2003), obtidos no posto pluviométrico da estação da Luz, código Hidroweb ANA 02346045, localizado na cidade de São Paulo – SP. Visando obter uma simulação o mais próximo da realidade possível, foram suprimidos os dados dos anos que apresentavam meses com mais de 5 falhas, resultando na exclusão de 14 anos. Para a verificação das regras elaboradas a partir da série histórica, utilizou-se os dados do período crítico de 2013 a 2015 para a estação São Paulo/SP-Mirante de Santana, código OMM: 83781.

A figura 30 apresenta as médias mensais de chuva registradas na série histórica (1888 a 2003) onde o comportamento do regime de chuvas da região apresenta grande sazonalidade, com maiores volumes de chuva nos meses de verão com pico no mês de janeiro e menores volumes de precipitação nos meses de inverno, com volume mínimo registrado no mês de julho.

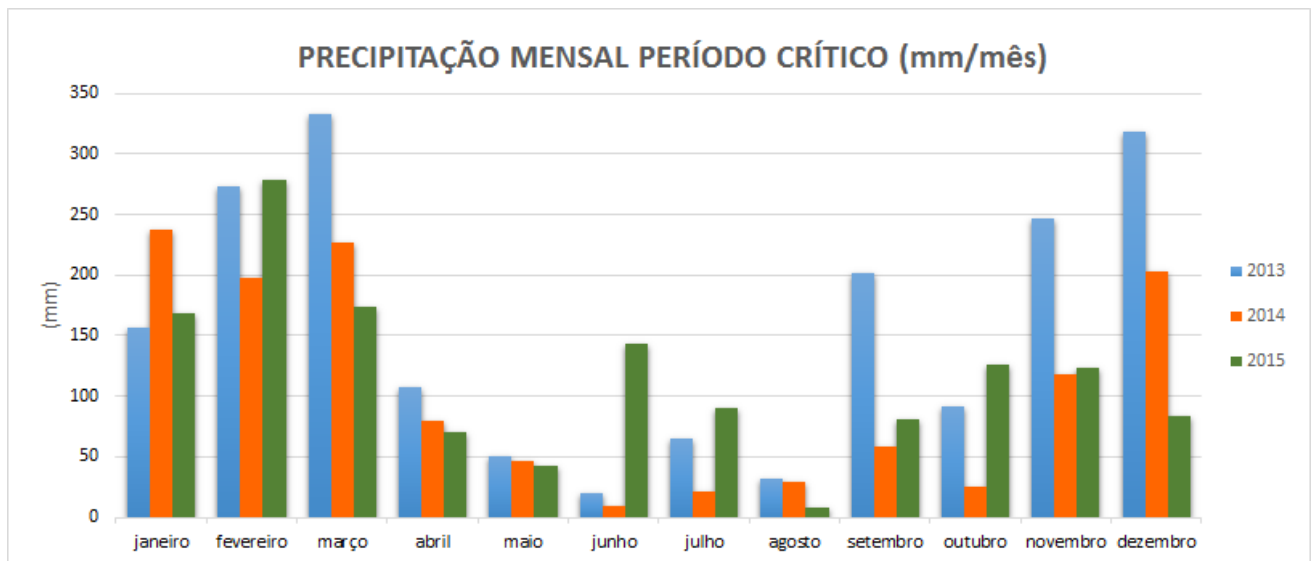
A figura 31, apresenta as precipitações mensais para o período crítico, 2013, 2014 e 2015. Analisando o gráfico percebe-se que no ano de 2013 ocorreram meses com precipitações maiores que as médias históricas, como os meses de março, setembro e dezembro, entretanto seguindo o mesmo padrão de sazonalidade. No ano de 2014 foram registrados volumes abaixo da média da série histórica, principalmente nos períodos de estiagem do inverno, levando ao agravamento da crise de abastecimento da RMS. O ano de 2015 apresentou alguns comportamentos anômalos quanto ao volume de chuvas registrados nos meses de junho e julho, registrando volumes bem acima da média histórica para estes meses, todavia, o mês de agosto foi o que registrou o menor volume de precipitações de todo o período crítico.

Figura 30 – Precipitação mensal média 1888 a 2003



fonte: (ANA, Estação da Luz, 02346045)

Figura 31 – Precipitação mensal período crítico 2013 a 2015



fonte: (INMET, Mirante de Santana, 83781)

6.7 TARIFA DE CONTINGÊNCIA DA RMSP

O objetivo da tarifa de contingência adotada pela Sabesp é conter o consumo de água potável na RMSP. Esta modalidade de cobrança tarifária tem como objetivo penalizar usuários que ultrapassem o seu consumo médio registrado no ano anterior e bonificar os usuários que consumirem menos que a média registrada neste mesmo período.

A Sabesp anunciou a adoção de tal tarifa em um comunicado, divulgado em janeiro de 2015, conforme segue:

SABESP comunica a implantação da tarifa de contingência, visando à redução do consumo de água em face da situação de grave escassez de recursos hídricos para os municípios operados pela SABESP incluídos no Programa de Incentivo à Redução do Consumo de Água.

O usuário cujo consumo mensal ultrapasse a média de consumo mensal apurada, no período de fevereiro de 2013 a janeiro de 2014, fica sujeito à tarifa de contingência, correspondente a:

- a) 40% (quarenta por cento) de acréscimo sobre o valor da tarifa, aplicável à parte do consumo de água encanada que exceder até 20% (vinte por cento) da média; ou
- b) 100% (cem por cento) de acréscimo sobre o valor da tarifa, aplicável à parte do consumo de água encanada que exceder a mais de 20% (vinte por cento) da média.

Estão sujeitos à tarifa de contingência todos os usuários, inclusive aqueles com contratos de demanda firme, ressalvados os seguintes casos:

- a) os com consumo mensal de água menor ou igual a 10 m³;
- b) os hospitais, prontos-socorros, casas de saúde, delegacias, presídios, casas de detenção, e os centros de atendimento da Fundação CASA. A meta estabelecida constará na conta do cliente.

A tarifa de contingência vigorará para os consumos medidos a partir de 08 de janeiro de 2015 até 31 de dezembro de 2015, podendo cessar total ou parcialmente antes desta data, caso os órgãos gestores de recursos hídricos editem atos correlatos a este assunto”.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 OTIMIZAÇÃO COM DADOS DA SÉRIE HISTÓRICA

A partir dos dados pluviométricos da série histórica (1888 a 2003) devidamente tratados, da definição das demandas para o empreendimento estudado e das definições do projeto, tais como o volume do reservatório de água pluvial e os valores e regras de aplicação da tarifa de contingência implementada pela Sabesp, partiu-se para as simulações do SAAC citadas no capítulo 5.

Ao término da simulação com tarifa de contingência e regras de utilização, obteve-se as referidas regras ótimas, representadas pelos fatores multiplicadores variando de 0 a 1 que representam a percentagem da demanda de água não potável diária a ser atendida pelo reservatório de armazenamento de água de chuva, em função dos 60 índices de combinação entre as 5 faixas de nível atual do reservatório e dos 12 meses do ano, conforme o item 5.3.

As regras de utilização representadas pelos fatores e índices descritos, otimizadas para a série histórica de precipitações são apresentadas na tabela 2.

Observando-se os resultados obtidos, percebe-se que, para a maioria das regras (88,3%), obteve-se o fator 1, o que significa que, para estas combinações de nível atual do reservatório de água de chuva e mês do ano, é vantajoso utilizar 100% do volume de demanda de água de chuva armazenado para suprir a demanda por água não potável. Entretanto, para algumas regras obteve-se fatores variando entre 0,80935 e 0,9975, os quais remetem que para estas combinações, não utilizar 100% do volume da demanda de água pluvial armazenada para suprir a demanda por água não potável pode apresentar um benefício econômico, uma vez que a fração poupada e complementada com a água da concessionária fica disponível para ser utilizada em uma situação mais crítica, amenizando as penalizações ou maximizando as bonificações impostas pela tarifa de contingência.

Analisando-se atentamente os 7 fatores que apresentaram variação, percebe-se que estes exibem números na casa de centésimo de milésimo, resultados provenientes da otimização por meio do *Solver*. Qualquer simplificação, arredondamento ou truncamento destes fatores pode acarretar

em uma significativa variação nos resultados obtidos na otimização, por vezes obtendo resultados contrários aos pretendidos pelo projeto. Esta grande sensibilidade constatada pode representar uma importante limitação do método, uma vez que tamanha resolução para os valores da regra de operação pode apresentar-se inviável na prática.

Tabela 2 – Regras de utilização otimizadas para a série histórica 1888 a 2003

		FATORES MULTIPLICADORES OTIMIZADOS											
FAIXA	VOLUME DE ÁGUA DE CHUVA NO RESERVATÓRIO	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
1	0% A 20%	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,898340	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
2	20% A 40%	1,000000	1,000000	0,920080	1,000000	1,000000	0,890010	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
3	40% A 60%	1,000000	1,000000	1,000000	0,997500	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
4	60% A 80%	1,000000	1,000000	0,899945	1,000000	1,000000	1,000000	0,809350	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
5	80% A 100%	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	0,899680	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000

fonte: (elaborado pelo autor)

Os fatores multiplicadores variando de 0 a 1 representam a percentagem da demanda de água não potável diária a ser atendida pelo reservatório de armazenamento de água de chuva, denominados como sendo as regras de utilização.

7.2 SIMULAÇÕES DO SAAC PARA O PERÍODO CRÍTICO

Visando estimar a economia com os custos de água da concessionária gerada pela implantação do SAAC e das simulações propostas, são apresentados a seguir os resultados obtidos em cada simulação, para o período crítico (2013 a 2015), onde não foram considerados os custos de implantação do SAAC.

7.2.1 Implantação do SAAC sem Tarifa de Contingência

A primeira simulação efetuada foi a de implantação do SAAC no Shopping Center objeto de estudo. Primeiramente considerou-se que toda a demanda por água do empreendimento seria suprida pela concessionária, onde foi considerada uma tarifa de 16,10 R\$/m³, referente a classe de consumo Comercial/Normal acima de 50 m³/mês da companhia Sabesp. Desta simulação

obteve-se um gasto total com água da Sabesp para o período crítico de R\$ 7.581.101,52, e um gasto médio mensal de R\$ 210.586,15.

Partimos então para a simulação com o SAAC sem tarifa de contingência, onde todo o volume de água de chuva armazenado destina-se a suprir a demanda por água não potável do empreendimento, em caráter desregrado, onde a parcela da demanda por água não potável que eventualmente exceda o volume de água de chuva armazenada é suprida pela concessionária. O reservatório de água pluvial é considerado vazio no início da simulação. Desta simulação obteve-se um gasto total com água da Sabesp para o período crítico de R\$ 5.370.972,34 e um gasto médio mensal de R\$ 149.193,68.

Analisando os resultados obtidos, percebe-se que a implantação do SAAC sem tarifa de contingência gerou uma economia total de R\$ 2.210.129,18 ao longo dos 3 anos, uma economia média anual de R\$ 736.709,73 e economia média mensal de R\$ 61.392,48 equivalente a 29,15% do custo total com água adquirida junto à concessionária antes da implantação do SAAC.

7.2.2 Implantação do SAAC com Tarifa de Contingência

Nesta simulação considerou-se a tarifa de contingência aplicada pela Sabesp, descrita no item 6.6 no cálculo dos custos com a água adquirida junto à concessionária. Para a aplicação das regras de penalizações e bonificações impostas pela tarifa de contingência, foi necessário conhecer o consumo médio mensal de água da Sabesp pelo Shopping Center ao longo do período crítico, o qual resultou num total de 9266,7 m³/mês. Aplicando as regras da tarifa de contingência na simulação do SAAC obteve-se um gasto total com água da Sabesp para o período crítico de R\$ 5.346.438,76 e um gasto médio mensal de R\$ 148.512,19.

Comparando-se os resultados obtidos com a simulação do SAAC sem tarifa de contingência, percebe-se uma economia total de R\$ 24.533,58 ao longo dos 3 anos, uma economia média anual de R\$8.177,86 e economia média mensal de R\$ 681,49 equivalente a 0,46% do custo total com água adquirida junto a concessionária antes da implantação da tarifa de contingência no SAAC.

O resultado obtido da simulação com tarifa de contingência apresentou-se satisfatório, gerando uma pequena economia frente à simulação sem tarifa de contingência devido aos padrões

sazonais de consumo do Shopping Center estudado, que por vezes coincidiram com os padrões de precipitação da região estudada.

7.2.3 Implementação das Regras Otimizadas de Utilização no SAAC

Utilizando-se das regras de utilização otimizadas para a série histórica (1888 a 2003), verificou-se o comportamento da aplicação das regras para o período crítico (2013 a 2015). A partir dessa simulação obteve-se um gasto total com água da Sabesp para o período crítico de R\$ 5.335.564,00 e um gasto médio mensal de R\$ 148.210,11.

Comparando-se os resultados obtidos com a simulação do SAAC com tarifa de contingência desregrada, percebe-se uma economia total de R\$ 10.874,75 ao longo dos 3 anos, uma economia média anual de R\$ 3.224,92 e economia média mensal de R\$ 302,08 equivalente a 0,2% do custo total com água adquirida junto a concessionária antes da implantação das regras de utilização otimizadas para o SAAC.

7.3 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES PARA O PERÍODO CRÍTICO

A tabela 3 apresenta os resultados obtidos nas diferentes simulações de implantação do SAAC para o período crítico.

Tabela 3 – Resultados das simulações para o período crítico

	SOMENTE ÁGUA POTÁVEL		SAAC SEM TARIFA CONT.		SAAC COM TARIFA DE CONT.		SAAC COM TARIFA CONT. E REGRAS OTIM. DE UTILIZAÇÃO	
	m ³	R\$	m ³	R\$	m ³	R\$	m ³	R\$
2013	156958,8	R\$ 2.527.037	110539	R\$ 1.779.678	110539	R\$ 1.771.634	110848,6	R\$ 1.774.637
2014	156958,8	R\$ 2.527.037	117853,9	R\$ 1.897.448	117853,9	R\$ 1.947.503	117853,9	R\$ 1.946.642
2015	156958,8	R\$ 2.527.037	105207,9	R\$ 1.693.847	105207,9	R\$ 1.627.302	105290,6	R\$ 1.614.281
TOTAL	470876,4	R\$ 7.581.110	333600,8	R\$ 5.370.973	333600,8	R\$ 5.346.439	333993,1	R\$ 5.335.560
MÉDIA ANUAL	156958,8	R\$ 2.527.037	111200,3	R\$ 1.790.324	111200,3	R\$ 1.782.146	111331,0333	R\$ 1.778.520
MÉDIA MENSAL	13079,9	R\$ 210.586	9266,7	R\$ 149.194	9266,7	R\$ 148.512	9277,586111	R\$ 148.210
ECONOMIA TOTAL (%)	-	-	29,15%	29,15%	29,15%	29,48%	29,07%	29,62%
ECONOMIA RELATIVA (%)	-	-	29,15%	29,15%	29,15%	0,46%	-0,1%	0,20%

fonte: (elaborado pelo autor)

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como intuito abordar um sistema alternativo de abastecimento de água, armazenando e utilizando a água de chuva para suprir a demanda por água não potável de um estabelecimento comercial de grande porte, localizado em uma região densamente povoada e com baixa disponibilidade de recursos hídricos.

O objetivo principal do trabalho foi a verificação da possibilidade de otimização do consumo dos reservatórios de água pluvial e água da concessionária, em um SAAC, com o intuito de reduzir os gastos com a água comprada junto à concessionária, a qual introduziu uma tarifa de contingência visando diminuir o consumo de água. O objetivo foi alcançado com a aplicação metodológica proposta, uma vez que foi possível realizar tal otimização onde obteve-se como resultado um benefício econômico, assim respondendo também à questão da pesquisa.

Tendo em vista que o resultado da aplicação das regras otimizadas para a série histórica introduzidas no período crítico apresentou-se positivo, resultando em um benefício econômico, não se pode afirmar que ao aplicarmos as mesmas regras para outro período hidrológico os resultados sejam positivos, uma vez que para cada período hidrológico e condições de contorno tais como demandas e configuração do sistema, é possível a otimização de diferentes regras, com resultados distintos.

Apesar do benefício econômico atingido com o emprego das regras de utilização otimizadas ser considerado pequeno quando comparado ao total gasto com a tarifa de água da concessionária, o empreendimento que por ventura viesse a adotar o sistema proposto neste trabalho, poderia se valer do benefício ambiental proporcionado pelo sistema como *marketing*, visando valorizar sua marca perante os consumidores, que cada vez mais valorizam ações sustentáveis.

Outra grande limitação constatada foi a hipersensibilidade de algumas regras, decorrentes do método de otimização empregado. Pode-se concluir que a aplicação de métodos mais complexos de otimização poderia levar a regras mais estáveis e até mesmo mais eficientes que as apresentadas neste trabalho.

Como alternativas futuras de trabalho neste tema, com o intuito de obter-se resultados mais significativos de economia, poderão ser utilizadas séries sintéticas de precipitação na otimização das regras de utilização, uma vez que espera-se obter otimizações mais generalizadas, e também a incorporação da previsão de precipitação na otimização de uso de água de chuva.

REFERÊNCIAS

- 3P TECHNIK DO BRASIL LTDA. **Sistemas de Filtragem**. São Paulo/SP, 2013. Disponível em <<http://www.3ptechnik.de/18-2-Filtros-para-tubo-de-queda.html>>. Acesso em: 16 nov. 2015.
- ALBANEZE, D. B. **Análise do consumo de energia elétrica com a instalação de um inversor de frequência no sistema de abastecimento de água do bairro Aero Rancho em Campo Grande-MS**. 2012. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande/MS, 2012.
- ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO. **Programa de formação e mobilização social para convivência com o semi-árido: um milhão de cisternas rurais P1MC**. Recife/PE, 2003. ANEXO II do Acordo de Cooperação Técnica e Financeira celebrado entre FEBRABAN e AP1MC.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS DO BRASIL. **Hidroweb**: sistema de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/hidroweb.asp?tocitem=1080&tiporeg=7&mostracon=true&criaarq=false&tipoarq=0&seriehist=true>>. Acesso em: 02 mar. 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- CLARKE, R.; KING, J.O **Atlas da Água**: o mapeamento completo do recurso mais precioso do planeta. São Paulo/SP: Publifolha, 2005.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Situação dos mananciais**. São Paulo/SP, 2014. Disponível em <<http://www2.sabesp.com.br/mananciais>>. Acesso em: 15 nov. 2015.
- DORNELLES, F. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 2012. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2012.
- GAVIOLLI, J. **Abastecimento público de água na Região Metropolitana de São Paulo: escassez, demanda e aspectos de saúde pública**. 2013. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2013.
- GOIS, E. H. B. **Estudo de caso: minimização e reuso de água de em shopping center da região Sul do Brasil**. 2015. 62f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina/PR, 2015.
- HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte/MG: UFMG, 2006.

HÜFFNER, A. N. **Otimização para o controle de alagamentos**: aplicação na bacia hidrográfica da Vila Santa Isabel em Viamão, RS. 2013. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE divulga as estimativas populacionais dos municípios em 2014**. Sala de imprensa, São Paulo/SP, 28 ago. 2014. Disponível em <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=2704>>. Acesso em: 15 nov. 2015.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2004.

_____. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. 2008. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2009.

MENDONÇA, P de A. O. **Reúso de água em edifícios públicos**: o caso da Escola Politécnica. 2004. 164 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Curso de Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo, Universidade Federal da Bahia, Salvador/BA, 2004.

SANTO, G. D. E.; SANCHEZ, J. G. Caracterização do uso da água em shopping centers da região metropolitana de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, **Anais...** ABES, 4, 2001, p. 1-11.

SELUCHI, M.; NOBRE, P. **Crise hídrica, estratégias e soluções da Sabesp**: para a Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo/SP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2015.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. 2. ed. São Paulo/SP: Navegar, 2003.

TORRI, J. B. **Dessalinização de água salobra e/ou salgada**: métodos, custos e aplicações. 2015. 43 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2015.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo/SP: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos Hídricos no século XXI**. São Paulo/SP: Oficina de Textos, 2011.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre/RS: ABRH, 1993.

YOUNOS, T.; TOLOU, K. E. **Overview of Desalination Techniques**. Journal of Contemporary Water Research & Education Issue. Universities Council on Water Resources, Blacksburg, Virginia/USA, 2015, p. 3-10, dezembro, 2005.