

IX-035 - COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Andréa Puzzi Nicolau⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal Fluminense. Cursando Especialização em Meio Ambiente pela COPPE/UFRJ.

Dirlane Fátima do Carmo⁽²⁾

Agrônoma pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos. Professora Adjunto IV na Universidade Federal Fluminense.

Endereço⁽¹⁾: Rua Tenente Mesquita 45 - Icaraí - Niterói - RJ - CEP: 24220-060 - Brasil - Tel: +55 (21) 97407-9067 - e-mail: apuzzi@id.uff.br

RESUMO

A água é um recurso natural e imprescindível à vida que vêm se tornando limitado. Assim, questões sobre a conservação e preservação dos recursos hídricos são cada vez mais abordadas na atualidade. Neste sentido, o aproveitamento de águas pluviais constitui um sistema alternativo de abastecimento de água que pode ser aplicado para diminuir a utilização de água potável fornecida pela rede. Para um sistema como este, é indispensável a instalação de um reservatório para armazenamento da água pluvial captada. O presente trabalho teve como objetivo principal a comparação dos métodos de dimensionamento de um reservatório para um sistema de aproveitamento de água da chuva para um empreendimento em Itaboraí – RJ visando o reúso de água em bacias sanitárias e avaliação da viabilidade de sua utilização. Um levantamento pluviométrico foi realizado para a região, bem como o dimensionamento do reservatório por metodologias distintas a fim de serem comparadas posteriormente. Também, uma revisão bibliográfica foi realizada abordando os principais pontos relacionados à captação e armazenamento da água da chuva em edificações.

PALAVRAS-CHAVE: Água da chuva, reúso pluvial, indústria, uso sustentável.

INTRODUÇÃO

A água é considerada o principal recurso natural, sendo indispensável para o desenvolvimento dos seres vivos e de inúmeras atividades humanas, tais como, as comerciais, industriais, agrícolas e culturais. Entretanto, a água tem sido degradada intensamente por essas mesmas atividades, gerando crise no abastecimento.

Duas situações contribuem consideravelmente para o déficit hídrico: o aumento populacional e o aumento das necessidades com o crescente aumento dos padrões de vida. Deve-se associar à limitação em quantidade a que ocorre em relação à qualidade das fontes de abastecimento de água, visto a poluição despejada nos recursos hídricos por meio de esgotos domiciliares e industriais não tratados, agrotóxicos das lavouras, entre outros.

Portanto, a água para consumo humano vem sendo considerada um recurso cada vez mais limitado. Muitas áreas com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender às demandas excessivamente elevadas, já sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida (SAUTCHÚK, 2004). A situação tende a ser agravada considerando que a concentração populacional nas áreas urbanas se intensificou a partir da Revolução Industrial e a previsão é que até 2050 haja um aumento de 60% em relação a população urbana de 2014, resultando em 6,3 milhões de habitantes nessas áreas (UNITED NATIONS, 2014).

Assim, o aumento da demanda de água somado ao crescimento das cidades, a impermeabilização dos solos, a degradação da capacidade produtiva dos mananciais, a contaminação e o desperdício conduzem a um preocupante quadro em relação ao abastecimento público. Por isso, a necessidade de preservar os estoques mundiais de água, torna-se um caso de urgência pela incerteza quanto às tendências futuras do clima.

Torna-se fundamental a criação de políticas de conscientização da população sobre o uso racional da água, bem como providências quanto a formas mais adequadas de se manter o abastecimento em uma edificação. Na

maioria das edificações, a água potável é utilizada para realização de todas as atividades, independentemente do uso a qual se destina. A evolução do conceito de conservação de água para o conceito de uso racional consiste na gestão, não somente da demanda, mas também na oferta de água, de forma que usos menos nobres possam ser supridos por água de qualidade inferior.

Desta forma, a redução do consumo através da reutilização da água é uma das diversas maneiras de minimizar a degradação do meio ambiente. Um dos métodos mais eficientes de reaproveitamento de água é através da captação da água da chuva que incide diretamente nos telhados das residências e edificações. Sendo reaproveitada para fins não potáveis, existe uma série de aplicações deste recurso, seja no consumo interno e externo das residências, na utilização industrial e também na agricultura.

O manejo e o aproveitamento de água da chuva para uso doméstico, industrial e agrícola estão ganhando ênfase em várias partes do mundo, sendo considerado um meio simples e eficaz para se atenuar o grave problema ambiental da crescente escassez de água para consumo (MAY, 2007).

A água da chuva é um recurso hídrico acessível a toda população, independente das condições econômicas e sociais, sendo uma fonte de água doce de uso não passível de cobrança, ainda. A gestão sustentável incluindo a reutilização de água, gera economia, diminui a demanda sobre os mananciais, reduz emissão de efluentes líquidos e amortece os alagamentos (NOSÉ, 2008).

OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal comparar as diferentes metodologias de dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água da chuva, utilizando como estudo de caso o dimensionamento de um reservatório para um empreendimento localizado em Itaboraí (RJ) visando o reuso de água em bacias sanitárias, avaliando a viabilidade de sua utilização. As metodologias de dimensionamento de reservatórios comparadas foram as de Rippl, Simulação, Azevedo Neto, Alemão, Inglês e Australiano.

Este trabalho teve como objetivos específicos: determinar as variáveis que influenciam nos cálculos utilizados em cada método pesquisado e suas características; avaliar a viabilidade de aplicação do sistema de aproveitamento de águas pluviais para um empreendimento e/ou para residências familiares e fazer uma análise crítica sobre as dificuldades para implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados coletados para Itaboraí foram obtidos a partir das informações disponíveis nas séries históricas do portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (<http://www.hidroweb.ana.gov.br>). O portal Hidroweb oferece um banco de dados com informações coletadas pela rede hidrometeorológica e reúne informações sobre cotas, vazões, chuvas, evaporação, perfil do rio, qualidade da água e sedimentos (ANA, 2015). De acordo com a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2015), uma série histórica de no mínimo 10 anos é usada para caracterização de uma região, uma série histórica de no mínimo 30 anos para elaboração de uma climatologia. Portanto, um intervalo de tempo relevante para este trabalho seria de mais ou menos 20 anos de série histórica.

Das quinze estações disponíveis apenas duas apresentavam dados de precipitação: Itaboraí (Código 02242051) e Sambaetiba (Código 02242097). Uma vez que a estação Itaboraí (Código 02242051) apresentava dados com nível de consistência 1 e, também, um período de monitoramento desatualizado (outubro de 1935 a julho de 1978), optou-se pela utilização dos dados da estação Sambaetiba (Código 02242097) que apresentava uma série histórica de 18 anos consecutivos mais recentes (setembro de 1977 a dezembro de 1994). Para isto, foi realizada uma correlação dos dados de ambas estações nos períodos coincidentes (setembro de 1977 a julho de 1978).

O cálculo do coeficiente de correlação foi feito através da função CORREL do Excel que se baseia na fórmula de Pearson (Equação 1). Para geração do histograma de pluviosidade, dos hidrogramas e avaliação da média anual para posterior análise dos meses chuvosos e secos da série histórica da estação escolhida foram utilizados os softwares R Studio e Excel.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

equação (1)

Local de estudo

O sistema de aproveitamento de águas pluviais para o empreendimento foi projetado para ser com derivação para descarte das primeiras águas de chuva e toda emissão feita para a rede de drenagem do município. A finalidade do uso da água seria para fins não-potáveis com a utilização em descargas sanitárias. A obtenção de dados da área de captação e consumo de água do empreendimento foi feita diretamente por contato, e-mail ou telefone, com o proprietário da empresa.

Para avaliar a demanda de água no empreendimento considerou-se a contribuição *per capita* de esgoto e carga orgânica unitária em atividades industriais com base na Diretriz Estadual do INEA - Instituto Estadual do Ambiente (INEA, 2007). Também foi considerado o coeficiente de retorno conforme a NBR 9649 (ABNT, 1986) e a demanda não potável que uma bacia sanitária gasta, bem como quantidade de descargas por dia de acordo com a previsão de Plínio Tomaz (TOMAZ, 2000). Assim, os cálculos foram feitos considerando o volume de água por descarga e o número dessas efetuadas por funcionário por dia, avaliando-se o número de dias úteis para a determinação do volume mensal.

Metodologias utilizadas para dimensionamento dos reservatórios

O dimensionamento pode variar de região para região, em função dos objetivos finais de implantação do sistema e principalmente em função da variação dos dados pluviométricos. Os métodos utilizados para o dimensionamento do reservatório foram: Rippl, Simulação, Azevedo Neto, Alemão, Inglês e Australiano. O detalhamento de cada método pode ser encontrado na NBR 15527 (ABNT, 2007) e no livro “Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis” (TOMAZ, 2011).

RESULTADOS OBTIDOS

Dados pluviométricos observados em Itaboraí (RJ)

A avaliação dos dados pluviométricos foi realizada após a correlação dos dados entre as estações de Itaboraí e Sambaetiba nos períodos coincidentes (setembro de 1977 a julho de 1978), resultando em um coeficiente de correlação de 0,88 (Tabela 1). A partir desse coeficiente de correlação, de acordo com CORREA (2003), pode-se afirmar que a estação de Sambaetiba tem forte correlação com a estação de Itaboraí, podendo ser usada para representá-la.

O histograma de ocorrências e o hidrograma de chuvas médias do período de dados coletados elaborado para a verificação da sazonalidade da precipitação estão demonstrados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1: Correlação entre dados do período coincidente (set/77 a jul/78) das Estações Itaboraí (02242051) e Sambaetiba (02242097)

Período	Itaboraí	Sambaetiba
	(02242051)	(02242097)
Precipitação Total (mm)		
Set/77	87,5	104,9
Out/77	17,0	37,0
Nov/77	110,1	193,2
Dez/77	110,0	201,3
Jan/78	94,6	99,6
Fev/78	101,0	135,2
Mar/78	31,4	82,2
Abr/78	95,0	94,9
Mai/78	108,1	139,3
Jun/78	13,0	35,7
Jul/78	0,0	31,8

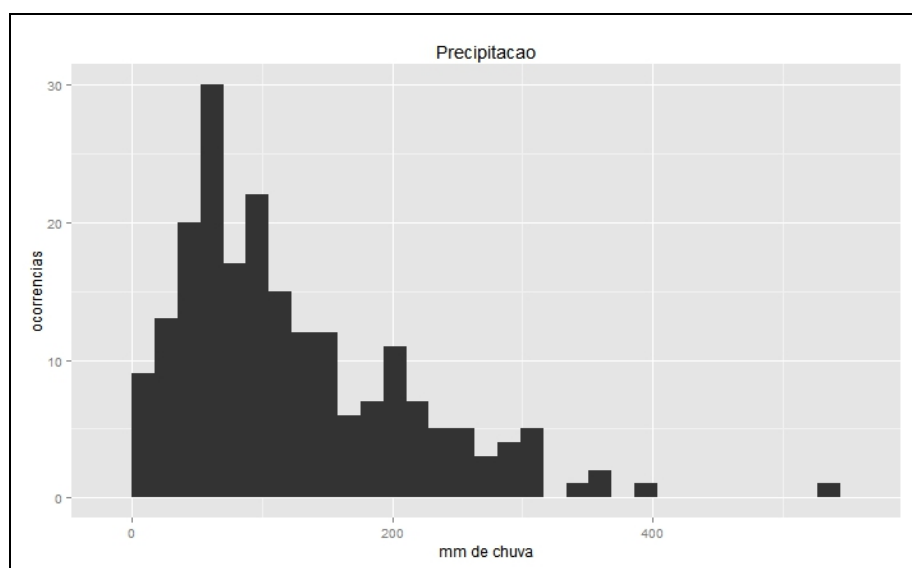


Figura 1: Histograma de ocorrências da Estação Sambaetiba (02242097) no período de dados coletados - set/77 a dez/94

Observa-se que chuvas com precipitação entre 80 e 120 mm foram mais frequentes e que chuvas a partir de 320 mm foram de baixa frequência. A precipitação máxima no período de coleta de dados foi acima de 400 mm.

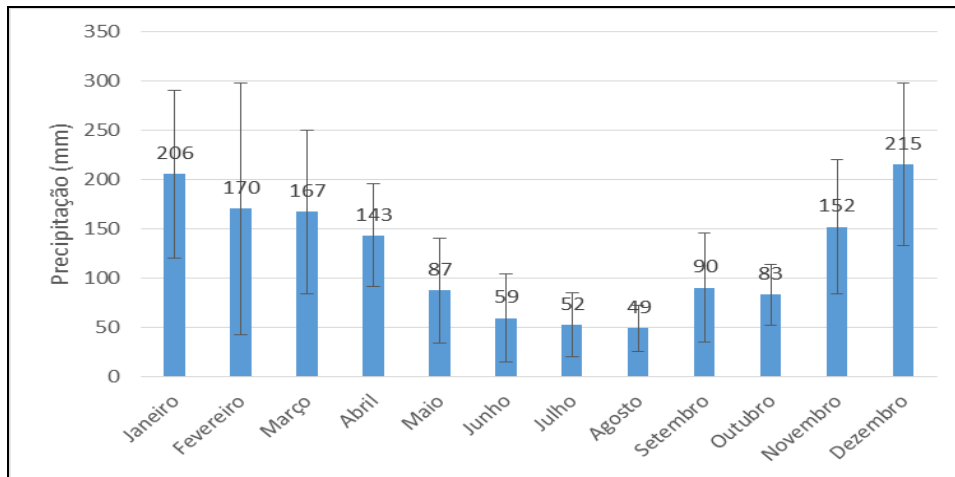


Figura 2: Hidrograma de chuvas médias da Estação Sambaetiba (02242097) no período de dados coletados set/77 a dez/94.

Percebe-se claramente o comportamento da distribuição da precipitação ao longo do ano, com uma grande amplitude entre os meses de verão (dezembro, janeiro e fevereiro) e os meses de inverno (junho, julho e agosto).

Na Figura 3 pode-se observar novamente que no período de quase 18 anos há uma sazonalidade que resulta nos períodos mais chuvosos (dezembro, janeiro e fevereiro) e nos períodos mais secos (junho, julho e agosto). A média mensal é 123 mm, o valor máximo é 528 mm, o valor mínimo é 1,5 mm e a mediana é 101 mm. A média anual é 1473 mm.

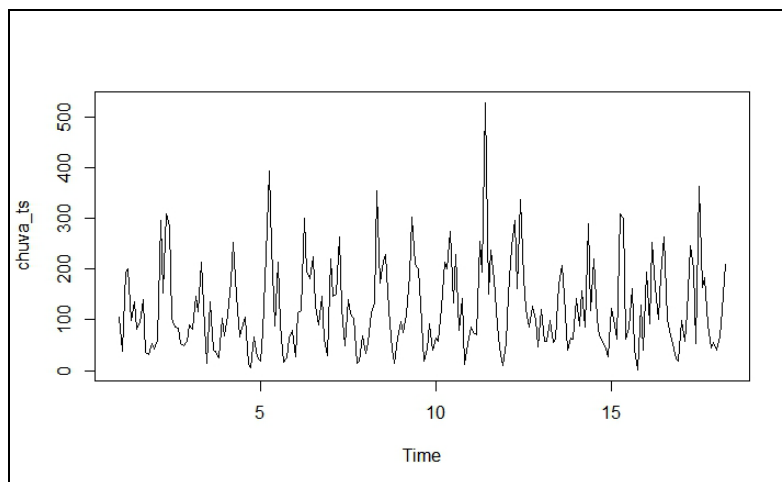


Figura 3: Série temporal de precipitação durante todo o período de dados set/77 a dez/94.

Sendo assim, pode-se usar como base para o Município de Itaboraí uma média mensal pluviométrica de 123 mm e anual de 1473 mm. Segundo o Serviço Geológico do Brasil - Companhia de Pesquisa de Serviços Minerais (CPMR), por meio do projeto Atlas Pluviométrico do Brasil (CPMR, 2011), pode-se dizer que Itaboraí localiza-se entre as isoietas de médias anuais de 1400 e 1500 mm. Além disso, no Projeto Rio de Janeiro (CPMR, 2000) Itaboraí localiza-se entre as isoietas médias anuais de 1200 e 1300 mm. Vale ressaltar que no Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil foi utilizado o período de monitoramento de dados de 1977 à 2006 enquanto no Projeto Rio de Janeiro foi utilizado o período de monitoramento de dados de 1961 à 1990. Ou seja, o valor encontrado de 1473 mm/ano é um valor coerente com pesquisas nacionais.

Área de Captação e Consumo de Água do Empreendimento

A empresa conta com uma área de captação de 1.700 m². O telhado é de telha cerâmica, e, por, normalmente, haver uma perda de 20% do volume de água escoado, o Coeficiente de Escoamento (C) escolhido foi de 0,80. A empresa apresenta atualmente um total de 65 funcionários e de acordo com INEA (2007) a contribuição *per capita* de esgoto e carga orgânica sanitária unitária a ser utilizada em atividades industriais é de 70 L/dia. Como o Coeficiente de Retorno é igual a 0,8 conforme a NBR 9649 (ABNT, 1986), tem-se o valor de 5.687,5 L/dia para consumo de água.

Visto que para um sistema de aproveitamento de água da chuva considera-se apenas a demanda de água não-potável e, para este caso, apenas o uso em descargas sanitárias, os cálculos foram baseados nos dados de consumo fornecidos por bibliografias. Considerando então 10 litros por descarga e 4 descargas por dia por funcionário, obteve-se um volume gasto de 40 litros por dia por funcionário. Assim, para uma média de 22 dias úteis no mês seriam gastos 57.200 litros mensais e consequentemente a demanda total anual seria de 686.400 litros de água não-potável para descargas de bacias sanitárias.

Dimensionamento do Reservatório

Utilizando o valor calculado de demanda mensal constante, o valor fornecido de área de captação, o coeficiente de escoamento como 0,8 e os valores de médias mensais de precipitação do Hidrograma (Figura 2), foi possível dimensionar o reservatório para todos os métodos citados anteriormente (Tabela 2). Vale ressaltar que para a primeira tentativa de dimensionamento pelo método Rippl, observou-se que a área de 1.700 m² foi considerada excessiva, visto que não gerava resultado para o volume do reservatório. Sendo assim, para este e todos os métodos subsequentes, utilizou-se a área de captação de 1.000 m².

Tabela 2: Volumes encontrados para cada método de dimensionamento

Método	Volume do Reservatório (m ³)	Volume do Reservatório aproximado (m ³)
Rippl	43,6	50,0
Simulação	40,0; 50,0 e 60,0	50,0
Azevedo Neto	371,2	400,0
Alemão	41,2	50,0
Australiano	48,4	50,0
Inglês	73,6	80,0

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta um resumo dos dados obtidos com os métodos analisados aplicados ao empreendimento, quanto ao uso das variáveis área de captação, demanda de água não-potável, precipitação pluviométrica e coeficiente de escoamento; a base temporal da precipitação pluviométrica e da demanda de água não-potável, o uso de demais variáveis e se ocorreu um superdimensionamento ou não.

Tabela 3: Resumo dos dados obtidos com os métodos analisados aplicados ao empreendimento

Método	Uso das três variáveis	Precipitação e demanda: mensal x anual	Uso do coeficiente de escoamento	Outras variáveis	Superdimensionamento
Rippl	3	Mensal	Sim	-	Não
Simulação	3	Mensal	Sim	-	Não
Azevedo Neto	2	Anual	Não	T (meses com pouca chuva)	Sim
Alemão	1*	Anual	Sim	-	Não
Australiano	3	Mensal	Sim	I (volume perdido por interceptação e evaporação)	Não
Inglês	2	Anual	Não	-	Sim

*Usa apenas uma variável no cálculo, porém considera duas para realização do mesmo.

Observa-se que a maioria dos métodos englobam três variáveis determinantes que interferem diretamente no volume do reservatório: área de captação, demanda de água não-potável e precipitação pluviométrica. Entretanto, não são todas as metodologias que utilizam as três variáveis. Além disso, algumas das metodologias não utilizam a variável coeficiente de escoamento, que interfere diretamente na quantidade de água captada, e não informam o percentual de atendimento da demanda, ou seja, não quantificam o *overflow* nem o volume necessário de um suprimento externo.

O uso dos métodos da simulação e australiano trouxeram mais confiança na hora de realização dos cálculos, visto que estes utilizam as três variáveis citadas acima e permitem uma simulação do volume do reservatório mês a mês da série, além de fornecerem os volumes de *overflow* e suprimento externo. Os resultados apresentados foram muito próximos o que confirma a precisão dos cálculos.

Na aplicação do método de Rippl observou-se que o mesmo não gerava resultado se o volume de água pluvial captado fosse extremamente superior à demanda de água na maioria dos meses, ou seja, esta metodologia limita o valor máximo de área de captação para que seja gerado um resultado.

Apesar de não utilizar das três variáveis, o método prático alemão se mostrou o mais funcional por ter como base de cálculo apenas uma equação e pelo resultado se mostrar bem similar aos resultados de outros métodos mais ponderados (simulação, Rippl e australiano).

O método prático inglês se comporta como o mais fácil de ser realizado, visto que este utiliza apenas o valor de precipitação anual, o que torna o cálculo mais simples e direto, e a área de captação.

O método prático de Azevedo Neto, assim como o inglês, superdimensionou o volume do reservatório, visto que este utiliza a variável de meses de pouca chuva, porém não descreve como defini-la. Este método pode ser aplicado principalmente em regiões onde ocorre escassez de água em determinados períodos do ano e quando se deseja suprir a demanda de água não-potável por todo ano ou maior parte do ano possível, como na região Nordeste do Brasil, por exemplo.

Os métodos práticos (alemão, australiano, inglês e Azevedo Neto), por serem menos complexos e de fácil aplicação, são mais indicados para aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares ou em pequenos estabelecimentos, enquanto os métodos mais complexos (Rippl e simulação) são mais indicados para projetos maiores, como indústrias. Porém, não existe nenhuma restrição na aplicação de qualquer método, visto que o método prático australiano se portou muito bem para o dimensionamento realizado neste trabalho.

CONCLUSÃO

Para definição do volume do reservatório, parte mais dispendiosa do sistema, dois dos resultados se mostraram bem distintos comparando-se aos demais. Sendo assim, foi adotado o valor de 50 m³, que foi obtido de forma aproximada por quatro dos seis métodos de cálculo (Rippl, Simulação, Alemão e Australiano).

Constatou-se que os métodos da simulação e prático australiano trazem resultados mais ponderados à realidade, além de oferecer uma gama de possibilidades para o dimensionamento. Os métodos de Rippl e alemão apresentaram resultados similares aos citados anteriormente. Os métodos práticos de Azevedo Neto e inglês superdimensionaram o volume do reservatório, o que pode ser explicado pelo uso de apenas duas das três variáveis relevantes para dimensionamento.

Sendo assim, observa-se a importância da utilização do maior número de variáveis possíveis para que se tenha uma base de cálculos de maior confiança e um resultado mais preciso e que traga uma melhor relação custo/benefício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Disponível em: <www.ana.gov.br>. Acesso em: 09/2015.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527, de 24 de setembro de 2007. Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9649, de 30 de novembro de 1986. Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário.
4. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – Atlas Pluviométrico do Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Isoietas_Totais_Anuais_1977_2006.pdf>. Acesso em 05/2016.
5. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – Projeto Rio de Janeiro. 2000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade/rjchuvas/chuvas_mpisoietas.pdf>. Acesso em: Maio de 2016.
6. CORREA, S. M. B. B. Probabilidade e Estatística. 2ª ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 116p. 2003.
7. HIDROWEB. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 09/2015.
8. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=330190>>. Acesso em: 09/2015.
9. INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. DZ-215.R-4, de 25 de setembro de 2007. Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem sanitária.
10. MAY, S. Estudo da viabilidade do aproveitamento e água de chuva para consumo não potável em edificações. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2004.
11. NOSÉ, D. Aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas em condomínios residenciais. 2008. 138 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, SP, 2008.
12. SAUTCHÚK, C. A. Formulação de diretrizes para implantação de programas de conservação de água em edificações. 2004. 332 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2004.
13. TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. 4. ed. São Paulo: Navegar, 208p. 2011.
14. TOMAZ, P. Previsão de consumo de Água. São Paulo: Navegar, 250p. 2000.
15. UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Facts 2014. Disponível em: <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/popfacts/PopFacts_2014-3.pdf>. Acesso em: 05/2016.
16. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Disponível em: <https://www.wmo.int/pages/index_en.html>. Acesso em: 09/2015.