

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
CENTRO DE ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA



Trabalho de Conclusão de Curso

**Captação da água da chuva para utilização na lavagem de
veículos: Estudo de caso para o município de Pelotas - RS.**

Carlina Rouse Favretto

Pelotas, 2016

CARLIANA ROUSE FAVRETTO

Captação da água da chuva para utilização na lavagem de veículos: Estudo de caso para o município de Pelotas - RS.

Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Andréa Souza Castro

Pelotas, 2016

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Andréa Souza Castro - Centro de Engenharias/UFPeI -
Orientadora

Prof^a. Dr^a. Diuliana Leandro - Centro de Engenharias/UFPeI

Prof^a. Dr^a Rita de Cássia Damé – Centro de Engenharias/ UFPeI

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Joel Favretto e Nelsi G. Schmitt, pela presença, orientação e apoio.

Aos meus irmãos, Eder G. Schmitt e Vanessa F. Schmitt, pelos conselhos, amizade e por serem meus irmãos.

As minhas amigas Carla Volz e Evelise Dal Ponte, pelo companheirismo e amizade em todos os momentos.

Aos amigos e colegas de Pelotas, aqueles que conheci e aprendi diariamente durante toda graduação, aos que participaram das longas jornadas de estudos e projetos, atuantes como uma central de ajuda, apoio e amizade nos momentos difíceis e divertidos desse período.

A empresa Expresso Embaixador, em especial ao Senhor Ricardo Almeida Cepeda, pela oportunidade em desenvolver o presente estudo.

Ao Professor Maurizio Silveira Quadro pela amizade, conhecimento e conselhos durante todo período acadêmico.

A minha Orientadora, professora Andréa Souza Castro, pela amizade, paciência e orientação no desenvolvimento do trabalho.

As professoras Diuliana Leandro, Luciara Corrêa e Rita Fraga Damé pela disponibilidade e dedicação pela profissão.

E por fim, aos que hoje não se encontram mais presentes, mas foram responsáveis por muitas escolhas e decisões nesta caminhada. Muito Obrigada.

RESUMO

FAVRETTO, Carliana Rouse. **Captação da água da chuva para utilização na lavagem de veículos: Estudo de caso para o município de Pelotas - RS.** 2016. 93f. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Sistemas de captação e aproveitamento da água da chuva são alternativas simples que auxiliam na diminuição do consumo da água tratada, redução na conta do abastecimento público de água da população e também no amortecimento do escoamento superficial devido à possibilidade de armazená-la. Estes sistemas são indicados especialmente para estabelecimentos que contemplam grandes áreas para captação e que necessitam de grandes volumes de água para atendimento da demanda das atividades. Desta forma, o trabalho objetivou analisar o potencial de aproveitamento de água no Município de Pelotas – RS, avaliar os métodos de dimensionamento do reservatório de armazenamento de água, com o intuito de utilizá-la na lavagem dos veículos de um empreendimento local e verificar a viabilidade econômica sobre a instalação do mesmo. Primeiramente foram levantados os dados de precipitação diários do Município junto à Estação Agroclimatológica de Pelotas (EAP) para o período de 36 anos (1985 a 2015). A demanda de água necessária para as atividades da empresa foram verificadas através de visitas locais e os métodos para o dimensionamento do reservatório aplicados foram os Métodos de Rippl, Dias consecutivos sem chuva, Análise e Simulação e os Práticos Brasileiro, Alemão, Inglês e Australiano. A viabilidade econômica foi verificada através de uma comparação anterior e posterior da possibilidade de instalação do sistema. Os resultados demonstraram que o município de Pelotas possui potencial para a instalação de sistemas de captação de água da chuva, devido a ocorrência de precipitações regulares e bem distribuídas durante todo o ano, entretanto, devido ao grande volume de água necessária para as atividades da Empresa, nem sempre o sistema atua de forma satisfatória. Os resultados dos volumes para o reservatório oriundos através da aplicação dos diferentes métodos foram discrepantes, contudo quando realizado o balanço hídrico do interior do reservatório, através do método de Análise e Simulação e Prático Australiano, obteve-se melhor compreensão do funcionamento e possibilidade de escolha.

Recomenda-se a utilização da maior área de captação simulada (10.544 m²) e a aplicação de um reservatório de 455 m³, representando uma economia de 79% de água tratada e redução dos custos de abastecimento de água de aproximadamente R\$17.652,00 mensais.

Palavras-chave: Aproveitamento de água da chuva, Lavagem de veículos, dimensionamento de reservatório

ABSTRACT

FAVRETTO, Carliana Rouse. **Rainwater harvesting for use in vehicle washing: A case study for the city of Pelotas – RS.** 2016. 93f. Course Conclusion Paper (TCC). Graduation in Environmental and Sanitary Engineering. Federal University of Pelotas, Pelotas.

Rainwater harvesting systems are simple alternatives that help in reducing the consumption of treated water, reducing the public supply of water bill of the population and also the dampening runoff because of the possibility of storing it. These systems are suitable especially for establishments which include large areas to capture and require large volumes of water to meet the demand of activities. Thus, the study aimed to analyze the potential for water use in the city of Pelotas - RS, evaluate methods of scaling the water storage tank, in order to use it in the washing of vehicles from a local enterprise and check economic feasibility of installing it. Firstly, the daily rainfall data were raised from the municipality by the Agrometeorological Station of Pelotas (EAP) for the period of 36 years (1985-2015). The demand of water needed for the activities of the company were verified by site visits and for the design of the reservoir were applied Rippl Methods, Days consecutive rainless, Analysis and Simulation and the Brazilian, German, English and Australian Practical. Economic viability was verified through a before and after comparison of the possibility of system installation. The results showed that the municipality of Pelotas has potential for the installation of rainwater harvesting systems, due to the occurrence of regular rainfall and well distributed throughout the year, however, due to the large volume of water required for the Company's activities not always the system operates satisfactorily. The results of the volumes to the reservoir that comes through the application of different methods were discrepant, but when carried out water balance inside the tank through the Analysis and Simulation and Practical Australian method, we obtained better understanding of the functioning and choice.

It is recommended to use the most simulated catchment area (10,544 m²) and the application of a reservoir with 455 cubic meters, representing a saving of 79% of treated water and reduce water supply costs of approximately R\$ 17,652.00 per month.

Key-words: Rainwater harvesting, Vehicle washing, Dimensioning of a reservoir

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1 Objetivo Geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Importância da água	17
2.2 Caracterização da precipitação	20
a) Precipitação em Pelotas.....	21
2.3 Histórico da captação da água da chuva e exemplos de sistemas	22
2.4 Legislação e normas brasileiras para o aproveitamento da água da chuva ...	24
2.5 Sistema de captação de água de chuva	26
2.7 Qualidade da água captada para fins não potáveis.....	30
2.8 Uso da água pluvial para a lavagem de veículos	32
2.9 Análise Econômica	32
3. METODOLOGIA	35
3.1 Procedimentos	35
3.2 Caracterização e área de estudo	35
3.3 Dimensionamento do sistema de captação de água da chuva.....	37
3.3.1 Previsão de consumo.....	37
3.3.2 Área de contribuição	38
3.3.3 Característica da precipitação.....	39
3.3.4 Reservatório de armazenamento	39
3.4 Bombeamento da água	45
3.5 Viabilidade econômica.....	47
a) Custos de água e esgoto descartado no município (antes da instalação do sistema de captação de água pluvial)	47
b) Custos de água e esgoto descartado no município (após instalação do sistema de captação de água pluvial).....	48
c) Economia após a instalação do sistema de captação de água pluvial.....	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
4.1 Potencial de aproveitamento da água da chuva em Pelotas	50

4.2	Dimensionamento do reservatório de armazenamento da água da chuva.....	53
4.2	Bombeamento da água armazenada.....	67
4.3	Viabilidade econômica do sistema	68
5.	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIA	75
	APÊNDICES	85
	Apêndice A – Esboço da Planta da Empresa Expresso Embaixador – Área da simulação 1	85
	Apêndice B – Esboço da Planta da Empresa Expresso Embaixador – Área da simulação 2	86
	Apêndice C – Esboço da Planta da Empresa Expresso Embaixador – Área da simulação 3	87
	Apêndice D – Esboço da Planta da Empresa Expresso Embaixador – Localização do reservatório de armazenamento e sistema de bombeamento	88
	Apêndice E - Dados de precipitação média mensal no município de Pelotas no período de 1980 a 2015.	89
	Apêndice F – Dados de precipitação média anual, dias consecutivos sem chuva e meses em que a precipitação foi superior a 100 mm no município de Pelotas no período de 1980 a 2015.	90
	Apêndice G – Relação de consumo, custos e economia para a sistema de captação de água pluvial, aplicados na simulação 1.	91
	Apêndice H – Relação de consumo, custos e economia para a sistema de captação de água pluvial, aplicados na simulação 2.	92
	Apêndice I – Relação de consumo, custos e economia para a sistema de captação de água pluvial, aplicados na simulação 3.	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Proporção de área territorial, disponibilidade hídrica e população para as cinco regiões do Brasil. Fonte: IBGE (2010); ANA (2013).....	19
Figura 2. Média mensal de precipitação no município de Pelotas - RS no período de 1980 à 2015. Fonte: Estação Agroclimatológica de Pelotas (2016)	22
Figura 3. Componentes do sistema de captação da água de chuva. (Fonte: http://www.clareando.com.br/interno.asp?conteudo=solucoes)	28
Figura 4. Localização do município de Pelotas – RS.	36
Figura 5. Mapa de localização da empresa Expresso Embaixador no município de Pelotas – RS.	36
Figura 6. Processo de lavagem externa da empresa Expresso Embaixador.	37
Figura 7. Precipitação anual no município de Pelotas no período de 1980 a 2015...50	50
Figura 8. Precipitação média mensal no município de Pelotas no período de 1980 a 2015.	51
Figura 9. Volume de chuva possível de captar para simulação 1 (6.728 m ²).	52
Figura 10. Volume de chuva possível de captar para simulação 2 (8.580,5 m ²).	52
Figura 11. Volume de chuva possível de captar para simulação 3 (10.544 m ²).	52
Figura 12. Volume do reservatório para cada simulação aplicada.	54
Figura 13. Dimensionamento reservatório para a simulação 1 com dados mensais de precipitação	57
Figura 14. Dimensionamento reservatório para a simulação 2 com dados mensais de precipitação	59
Figura 15. Dimensionamento reservatório para a simulação 3 com dados mensais de precipitação	61

Figura 16. Dimensionamento reservatório para a simulação 1 com dados diários de precipitação	63
Figura 17. Dimensionamento reservatório para a simulação 2 com dados diários de precipitação	65
Figura 18. Dimensionamento reservatório para a simulação 3 com dados diários de precipitação	66
Figura 19. Economia média mensal de água para a simulação 1.	69
Figura 20. Economia média mensal de água para a simulação 2.	70
Figura 21. Economia média mensal de água para a simulação 3.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Diferentes níveis de qualidade da água exigidos conforme o uso.....	31
Tabela 3. Matriz tarifária do município de Pelotas – RS.....	34
Tabela 4. Demanda necessária para a lavagem dos veículos interna e externamente, cabeceiras e limpeza do piso do setor da manutenção.....	38
Tabela 5. Simulações de áreas de captação da água da chuva e o respectivo material.....	38
Tabela 6. Coeficientes de runoff médios	39
Tabela 7. Resultados dos volumes dos reservatórios através da aplicação dos métodos de dimensionamento.	53
Tabela 8. Dimensionamento reservatório para a simulação 1 com dados de precipitação mensais.....	56
Tabela 9. Dimensionamento reservatório para a simulação 2 com dados de precipitação mensais.....	58
Tabela 10. Dimensionamento reservatório para a simulação 3 com dados de precipitação mensais.....	60
Tabela 11. Dimensionamento reservatório para a simulação 1 com dados diários de precipitação	62
Tabela 12. Dimensionamento reservatório para a simulação 2 com dados diários de precipitação	64
Tabela 13. Dimensionamento reservatório para a simulação 3 com dados diários de precipitação	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Qualidade da água de acordo com o local de coleta.....	31
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
ASA	Articulação do Semi-árido brasileiro
CCM'S	Complexo Convectivo de Mesoescala
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
INMET	Instituto Nacional de meteorologia
NO _x	Óxido de nitrogênio
PL	Projeto de Lei
SANEP	Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas
EAP	Estação Agroclimatológica de Pelotas
MPA	Método Prático Australiano
MAS	Método de Análise e Simulação

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, o tema “disponibilidade hídrica” é manchete e assunto em muitos meios de comunicação, os quais expõem frequentemente informações sobre a atual situação, casos de escassez, desperdício, e poluição. De acordo com May (2004), o crescimento populacional aliado ao uso impróprio da água tem levado a cenários de degradação deste recurso. Já para Cohim et al. (2007), além do crescimento populacional, o processo industrialização e a demanda por água nos grandes centros urbanos, também são fatores que contribuem para tal situação.

De acordo com estimativas do Instituto Internacional de Pesquisa de Política Alimentar, estima-se que até 2050 um total de 4,8 bilhões de pessoas estarão em situação de estresse hídrico (SEGALA, 2012). Essa problemática é justificada pelos fatores apresentados anteriormente, os quais tem gerado preocupação e incentivado programas de uso racional sustentável da água e também a busca por novas alternativas e soluções que visem diminuir a carência deste recurso.

Diante desta preocupação, o reuso da água, dessalinização da água do mar e a captação e aproveitamento da água da chuva surgem como alternativas para auxiliar no abastecimento de água não potável.

Estes sistemas de aproveitamento de água pluvial são aplicados para atender demandas de água não potável (NOLDE, 2007), uma vez que se dispõe de água com qualidade razoável para várias finalidades, principalmente os não potáveis, e podem ser utilizados em diversas atividades do setor industrial, agrícola, comercial e residencial.

No setor industrial pode ser destinada para o resfriamento, climatização, lavanderia, lavagem de máquinas, abastecimento de caldeiras, lavagem de veículos, sistemas de controle de incêndios e limpeza em geral. Em residências e no comércio em geral, usualmente é utilizada em bacias sanitárias, lavagem de veículos, limpeza e irrigação de jardins. E, por fim, no setor agrícola é destinada principalmente na irrigação de plantações (MAY e PRADO, 2004).

Diante desta fonte alternativa, a água da chuva contribui tanto na diminuição do volume de água tratada consumida, como na economia da conta de abastecimento público dos usuários e também auxiliar no amortecimento do escoamento superficial atenuando enchentes devido ao volume da água retida para o armazenamento. São

condições relevante quando apresentam características favoráveis a implantação, especialmente em processos que exigem elevada demanda de água e grandes áreas de cobertura para a captação (MIERZWA et al. 2007).

Além disso, diversos setores passaram a enxergar o aproveitamento da água da chuva como “*marketing*” para as instituições, através da introdução de práticas sustentáveis e de responsabilidade socioambiental (TOMAZ, 2000).

Em áreas urbanas, alguns autores como DEVKOTA et al. (2015) e SANTOS e TAVEIRA-PINTO (2013), comentam que a aplicação deste sistema ainda é limitado devido ao longo período de retorno do investimento financeiro, o que torna a implantação, em alguns casos, inviável. Neste contexto, é fundamental que seja realizada uma avaliação quantitativa e qualitativa para a instalação do mesmo.

Fatores qualitativos referem-se aos elementos presentes na atmosfera, os quais poderão interferir na qualidade da água captada. Quanto ao aspecto quantitativo, é importante conhecer o volume de água precipitado na região e a demanda de água necessária para atender à determinada finalidade, com o objetivo de implantar um sistema que garanta o abastecimento de água não potável na maior parte do tempo e que seja viável economicamente (ANNECCHINI, 2005).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é verificar a viabilidade ambiental, técnica e econômica de água, que o sistema de captação de água da chuva apresenta para a lavagem de veículos de uma empresa de transporte rodoviário de passageiros localizada no município de Pelotas – RS.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o potencial de aproveitamento da água de chuva no município de Pelotas – RS.

- Comparar e analisar os métodos de dimensionamento de reservatório para o armazenamento da água.
- Estimar a redução do consumo de água potável e a economia sobre o abastecimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância da água

A água é um recurso natural de fundamental importância para a sobrevivência e desenvolvimento de todas as espécies do planeta (MMA, 2005). Devido ao ciclo hidrológico, o volume de água no Planeta Terra permanece sempre constante, ocupando aproximadamente 70% da superfície, sendo este um dos recursos naturais mais abundantes disponíveis no planeta (LOBATO, 2005).

Apesar de possuir a maior parte de sua superfície coberta por água, ao se tratar da disponibilidade para o consumo humano, esse dado se torna preocupante. Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), cerca de 97,5% da água disponível é salgada e somente 2,5% corresponde a fração de água doce.

A parcela de água doce encontra-se dividida entre geleiras e calotas polares (68,9%), aquíferos subterrâneos (29,9%), presente como umidade do solo (0,9%) e finalmente, a parcela de água superficial constituída por rios e lagos (0,3%) (MMA, 2005).

A disponibilidade de água potável é um problema antigo e a tendência futura é insatisfatória. Em muitos casos, essa questão pode ser atribuída pela sua escassez devido ao aumento da população, desperdício, inadequada distribuição geográfica, poluição e degradação de mananciais, ilegalidade de sua utilização, resultando no comprometimento do desenvolvimento e crescimento de gerações futuras (SAUTCHÚK, 2004). Além disso, a expansão industrial e as mudanças climáticas, as quais alteram o regime de distribuição das chuvas, também são fatores que contribuem para o agravamento do problema da escassez (HAGEMANN, 2009).

Dentre as diversas finalidades para a utilização da água em todo o mundo, destacam-se o abastecimento, geração de energia elétrica, irrigação, navegação, limpeza das cidades, construção de obras, combate a incêndios, entre outros. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente, cerca de 70% de toda a água consumida é destinada para a agricultura, 22% para o setor industrial e 8% para as atividades domésticas (MMA, 2005).

O relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos (2015) indica que as perturbações nos ecossistemas provenientes da excessiva urbanização, práticas agrícolas inadequadas, desmatamento e

lançamento de efluentes nos corpos hídricos sem tratamento, estão entre os fatores que ameaçam a capacidade do meio ambiente de fornecer serviços ecossistêmicos, com o propósito de sustentar a vida no planeta.

O aumento acentuado da população mundial e inevitavelmente o aumento do consumo de água potável, ocasiona a redução da qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos (MARINOSKI, 2007). Uma pesquisa realizada pela ONU demonstra que a população mundial passará de 6,6 bilhões para 9,1 bilhões de habitantes em 2050. Estimativas indicam que caso esse acontecimento for verdadeiro, o aumento de 10 bilhões de habitantes nos próximos 50 anos acarretará problemas no suprimento de água para cerca de 70% da população (CHRISTOFIDIS, 2003).

Além do aumento da população, a sua má distribuição no globo é um fator preocupante em se tratando de disponibilidade de água (MARINOSKI, 2007). O MMA (2005), afirma que os países que possuem este recurso natural de forma abundante, como o Brasil, não está livre de um déficit hídrico, pois a disponibilidade varia de região para região, ocasionando desequilíbrio entre oferta e demanda.

As regiões mais populosas são as que dispõem de pouco água, sendo que o contrário é verdadeiro: regiões com menor índice populacional dispõem de um maior volume de água disponível. Neste sentido, este recurso natural torna-se, além de limitado não somente por sua quantidade, mas também pela qualidade e localização (GHISI, 2006; BRANCO, 2010).

O Brasil apresenta uma área de aproximadamente 8.515.767 km² (Anuário Estatístico, 2014) e aproximadamente de 190 milhões de habitantes (IBGE, 2010), sendo considerado o quinto país do mundo, tanto em extensão territorial como em população. De acordo com os dados da Agência Nacional de Águas (ANA), o país detém cerca de 13,7% da água doce superficial disponível no mundo, entretanto a disponibilidade deste recurso não é uniforme.

Por ser um país com grande área territorial, apresenta diversidade de climas, condições topográficas, vegetação, condições socioeconômicas e culturais, as quais tornam a gestão da água uma tarefa difícil de ser administrada.

Segundo os dados apresentado pela Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil (2013), aproximadamente 80% da disponibilidade hídrica superficial do país

encontra-se na bacia amazônica, a qual é habitada por menos de 5% da população total, da mesma forma, apenas 20% dos recursos hídricos estão disponíveis para 95% da população brasileira.

A Figura 1 relaciona a disponibilidade hídrica, população e a área territorial das cinco regiões que compreendem o Brasil.

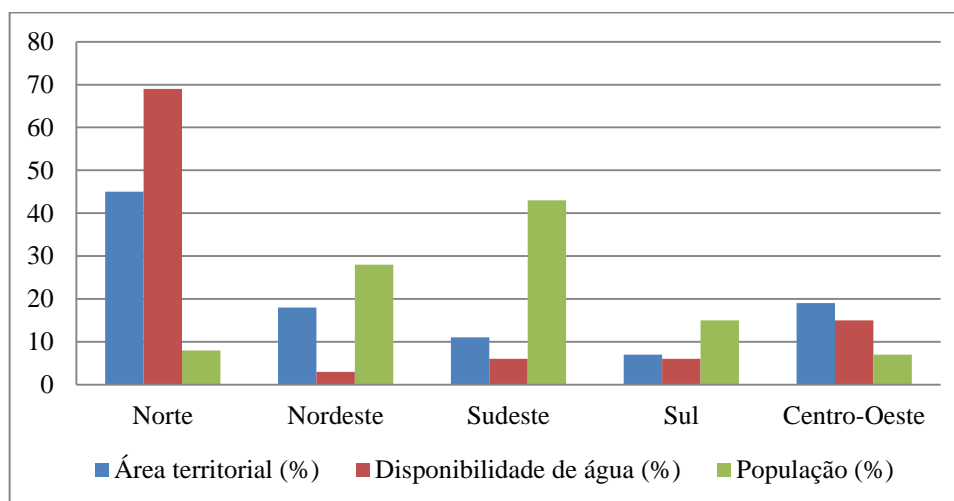


Figura 1. Proporção de área territorial, disponibilidade hídrica e população para as cinco regiões do Brasil. Fonte: IBGE (2010); ANA (2013).

O desequilíbrio entre oferta e demanda pela água no Brasil é evidente, ainda mais quando verificado que as regiões onde a predominância da atividade industrial e agrícola é mais assídua como, por exemplo, o sudeste e nordeste existem a maior concentração populacional e menor disponibilidade hídrica.

No Nordeste a falta de água é crônica. No Sudeste ela é abundante, porém de má qualidade. A invasão de áreas de mananciais hídricos pela população carente é um dos maiores problemas de São Paulo. Os dejetos industriais lançados no rio Paraíba do Sul tornam precária a água que abastece o Rio de Janeiro e outras cidades. Falta água para irrigar os arrozais do Rio Grande do Sul (FREITAS, 2000).

Além de uma grande disponibilidade hídrica superficial, o Brasil dispõe de um dos maiores reservatórios de água subterrânea do mundo: O Aquífero Guarani, que cobre uma superfície de quase 1,2 milhões de km², e está inserido na Bacia Geológica Sedimentar do Paraná, localizada entre 4 países vizinhos (Brasil, Paraguai, Uruguai e Argentina). Devido sua grandiosidade, o aquífero apresenta-se como a principal reserva de água subterrânea da América do Sul, com um volume estimado em 46 mil km³, sendo que 2/3 da área total está localizado em território brasileiro, entre os estados de Goiás, Mato Grosso, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (AQUÍFERO GUARANI, 2015).

2.2 Caracterização da precipitação

Originalmente, a palavra pluvial é oriunda do latim *Pluvium*, a qual significa chuva. E, desta forma, a denominação de água pluvial ou água da chuva é uma caracterização das águas decorrentes das precipitações.

Precipitação é a liberação de água proveniente do vapor d'água da atmosfera sobre a superfície da Terra, apresentando-se sob diversas formas: orvalho, chuveiro, chuva, granizo, saraiva ou neve, diferenciando-se umas das outras através do estado físico em que a água se encontra (TUCCI, 2001; VILLIERS, 2002).

A condensação do vapor d'água presente na atmosfera é resultante do seu resfriamento a ponto de saturação, podendo ocorrer devido a ação frontal de outras correntes eólicas, topografia acentuada, fenômenos de convecção térmica ou a combinação de todas essas causas (GARCEZ e ALVARES, 1988).

Quando do início do evento de precipitação pode ocorrer a contaminação devido ao carregamento de partículas que estão suspensas no ar. Essas partículas são substâncias nocivas como o dióxido de enxofre (SO_2) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Normalmente, essa contaminação ocorre em áreas urbanas devido a grande quantidade de circulação de veículos e indústrias (TORDO, 2004).

A precipitação é um importante fator no controle do ciclo hidrológico e uma das variáveis climáticas que exerce maior influência na qualidade do meio ambiente. A variabilidade climática é uma característica importante a ser analisada no processo de instalação de sistemas de captação de água pluvial, pois determinarão o sucesso ou fracasso de seu funcionamento.

O Estado do Rio Grande do sul, segundo o INMET (2016), apresenta distribuições de precipitação equilibradas ao longo do ano, todavia o volume de chuvas é desigual nas diversas regiões do Estado. A região sul apresenta precipitação média entre 1299 e 1500 mm, já ao norte apresenta precipitações médias entre 1500 a 1800 mm.

Vários são os eventos climáticos responsáveis pela variação e distribuição da precipitação no Estado. Conhecido como Complexo Convectivo de Mesoescala (CCM's), são sistemas que formam-se no período da noite e geralmente apresentam o máximo de convecção sobre o Sul do Paraguai e atingem o Estado com intensa

precipitação em curto espaço de tempo (GUEDES, 1985). Esse evento ocorre normalmente na estação da primavera.

O fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) exerce expressivas anomalias climáticas de precipitação pluvial no Rio Grande do Sul, caracterizadas por apresentarem maior regime de chuvas e alterações térmicas. Em anos de El Niño, as chances de chuvas acima do normal são maiores, enquanto desvios negativos ocorrem em anos de La Niña (BRITTO et al., 2008)

Estudo realizado por Britto et al. (2008), analisaram a variabilidade pluviométrica mensal e sazonal do Estado e encontraram quatro sub regiões semelhantes, sendo elas, sub-região nordeste, noroeste, centro sul e litorânea.

A sub região do centro sul e litorânea apresentaram maior ocorrência de chuvas, durante a estação do inverno. Já na primavera, chove mais na sub-região noroeste do Estado, quando CCM's. No verão chove mais na sub-região nordeste e no outono na sub-região sudeste.

a) Precipitação em Pelotas

O Município de Pelotas está localizado na região Sul do Estado do Rio Grande do Sul, especificamente na latitude 31°46'34" e longitude 52°21'34". As variações de temperatura e precipitação do município estão associadas às massas de ar e os sistemas frontais provenientes das regiões continentais e marítimas.

De acordo com os dados provenientes da Estação Agroclimatológica de Pelotas - EAP (2016) referente da estação pluviométrica localizada no município de Capão do Leão junto às dependências da Embrapa Clima Temperado, a precipitação pode ser considerada bem distribuída durante todo o ano, com média mensal de 120 mm, sendo que fevereiro é o mês com maior volume de chuva resultando com média de 163 mm e outubro é o mês com menor volume de precipitação, apresentando média de aproximadamente 109 mm (Figura 2).

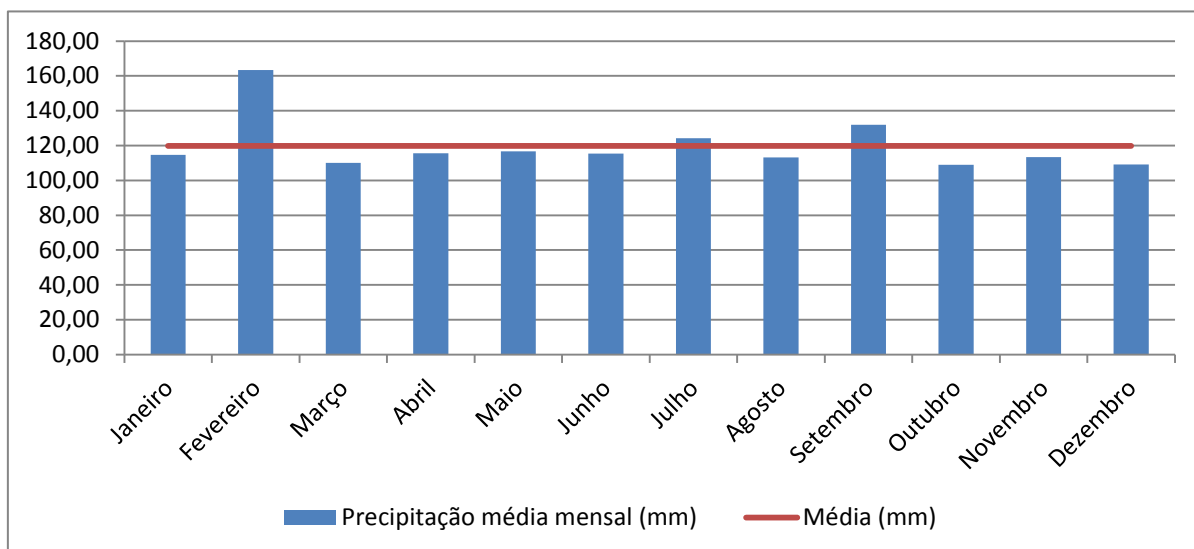


Figura 2. Média mensal de precipitação no município de Pelotas - RS no período de 1980 à 2015. Fonte: Estação Agroclimatológica de Pelotas (2016)

2.3 Histórico da captação da água da chuva e exemplos de sistemas

A água pluvial é uma forma antiga e das mais simples de abastecimento. Relatos referentes ao armazenamento e aproveitamento da água pluvial tem sido um método exercido por diferentes civilizações ao longo do tempo em vários lugares do mundo. Registros históricos indicam inúmeras cisternas escavadas em rochas, utilizadas para o armazenamento da água da chuva, que são anteriores à 3000 a.C. (SAUTCHÚK, 2004; MARINOSKI, 2007).

A cisterna mais antiga no mundo é provavelmente a de Istambul, na Turquia, conhecida como Yerebatan Sarayı, construída durante o Império Romano e com capacidade de 80.000 m³ de água proveniente das chuvas (UNEP, 2002; WERNECK, 2006).

No continente Africano, as evidências mais antigas de captação e armazenamento da água pluvial são encontradas no norte do Egito, onde as cisternas têm sido usadas por mais de 2000 anos, com capacidade entre 200 e 2000 m³, muitas ainda em funcionamento. Na China já existiam cacimbas e tanques para água da chuva há dois mil anos (GNADLINGER, 2000; UNEP, 2002).

No México, escritas antigas indicam o uso do sistema de aproveitamento desde a época dos Astecas e dos Maias. Atualmente ainda existem cisternas em uso, que datam antes da chegada de Cristóvão Colombo à América. Em Israel, encontra-se um dos exemplos mais conhecidos, a fortaleza de Masada, com dez reservatórios

escavados na rocha, tendo como capacidade total 40 milhões de litros (TOMAZ, 2003).

No Irã ainda são encontrados os Abanbars, tradicional sistema comunitário de captação de água da chuva (GNADLINGER, 2000).

Já na Alemanha, o governo oferece financiamentos para a construção e instalação dos sistemas de captação, objetivando suprir a distribuição da água na cidade, economia de água potável e conservação das águas subterrâneas que são utilizadas como fonte de recurso hídrico em muitas cidades do país (GROUP RAINDROPS, 2002).

Um dos países que mais promove estudos e investimentos em instalações de sistemas de captação de água da chuva é o Japão, além de construção de reservatórios de retenção para evitar enchentes (TOMAZ, 2003).

Nos Estados Unidos, Austrália e Cingapura, pesquisas também são desenvolvidas nesta área. Em 1992, aplicou-se o sistema de aproveitamento de água de chuva no Aeroporto de Chagi, em Cingapura. A chuva captada nas pistas do aeroporto é utilizada para descarga dos banheiros (GROUP RAINDROPS, 2002).

No Brasil, a instalação mais antiga de aproveitamento da água da chuva é na ilha de Fernando de Noronha em 1943, realizada pelos norte americanos (MAY, 2004). Atualmente, a ilha ainda faz uso de tal aproveitamento.

Sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva é considerado uma técnica popular, especialmente em regiões semi-áridas brasileiras (SOARES et al., 2000). Esta região, por apresentar cerca de 80% da área geográfica do subsolo por formação cristalina, sem lençol freático, o armazenamento da água pluvial tem se apresentado a opção mais indicada para suprir o consumo humano (MAY, 2004).

De acordo com a rede ASA (Articulação do Semi-árido Brasileiro), foi desenvolvido o programa denominado “Programa um milhão de cisternas” com o intuito de auxiliar o acesso à água potável através da construção de cisternas de placas e melhorar a qualidade de vida da população, sendo que desde o ano de 2003, aproximadamente 420.000 cisternas foram construídas na região (ASA, 2013).

Em 1999, no Brasil, foi fundada a Associação Brasileira de Manejo e Captação de Água de Chuva, que é responsável por divulgar estudos e pesquisas, reunir equipamentos, instrumentos e serviços sobre o assunto (ABCMAC, 2008).

2.4 Legislação e normas brasileiras para o aproveitamento da água da chuva

A água é um bem de domínio público, um recurso natural limitado e dotado de valor econômico. Em situação de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997).

Pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 criou-se o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e, através dos instrumentos de gestão, especificamente no artigo 5, inciso III menciona a outorga pelo direito de uso de recursos hídricos.

De acordo com CIRRA; FCTH; DTC ENGENHARIA (2004), a outorga:

“... dá ao órgão gestor condições de gerenciar a quantidade e qualidade desses recursos, e ao usuário a garantia do direito de uso da água. O poder outorgante (União e Estados) deve avaliar cada pedido de outorga, verificando se as quantidades existentes são suficientes, considerando os aspectos qualitativos e quantitativos. Desta forma, a outorga ordena e regulariza os diversos usos da água em uma bacia hidrográfica (...).

De maneira geral, a água pluvial e a água de reuso não necessitam de outorga pois a captação e armazenamento não interferem diretamente no balanço do corpo hídrico, contudo podem intervir de maneira qualitativa e quantitativa no empreendimento que for adotado.

No âmbito do desenvolvimento sustentável, a gestão e manejo dos recursos hídricos podem ser definidos como ações orientadas para administrar o uso racional e conservação da água, garantir o atendimento aos padrões de qualidade e controlar o aproveitamento sem comprometer o meio e o bem estar da sociedade.

Neste sentido e como ferramenta de gerenciamento dos recursos hídricos, a Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 comenta:

O gerenciamento do uso da água e a procura por novas alternativas de abastecimento como o aproveitamento das águas pluviais, a dessalinização da água do mar, a reposição das águas subterrâneas e o reuso da água estão inseridos no contexto do desenvolvimento sustentável, o qual propõe o uso dos recursos naturais de maneira equilibrada e sem prejuízos para as futuras gerações (BRASIL, 2002).

O planejamento da sistemática de aproveitamento das águas pluviais apresenta um papel fundamental na gestão sustentável dos recursos hídricos, proporcionando

uma alternativa no abastecimento público de água, economia para os usuários e consequentemente a conservação dos recursos naturais para fins mais nobres.

O Código das Águas, descrito pelo decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934, considera como sendo águas pluviais, as que resultam do fenômeno das chuvas. Ainda, relata que as águas pluviais pertencem ao dono do prédio onde caírem diretamente, podendo o mesmo dispor delas à vontade.

A captação de água de chuva tem uma relação indireta com os objetivos dessa Política, já que estimula o uso racional e ao mesmo tempo previne contra os eventos hidrológicos críticos, tanto às secas, devido à promoção da reserva, quanto às inundações, devido à diminuição do escoamento superficial. A inclusão da captação de água de chuva no Plano, indica o esforço da política de recursos hídricos na busca da transversalidade e no gerenciamento integrado das águas (SENRA; BRONZATTO; VENDRUSCOLO, 2007).

No Brasil, ainda não existem legislações que conduzam para o aproveitamento sustentável da água de chuva. Entretanto, existem vários Projetos de Leis (PL) em trâmite na Câmara dos Deputados, destacando o PL nº 7.818 de 2014, referente ao estabelecimento da Política Nacional de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais, o qual, tem por objetivo a promoção e conservação do uso racional da água, qualidade ambiental, manejo adequado e incentivos econômicos para a captação, visando o fomento do uso direto e planejado das águas pluviais.

Atualmente, em termos federais, o aproveitamento da água pluvial ainda está configurado através de projetos de lei, todavia, em alguns estados e municípios brasileiros, este assunto já é antigo e exigido, principalmente em locais nos quais a disponibilidade hídrica é deficitária.

Nos últimos anos vários municípios brasileiros adotaram legislações com a temática do aproveitamento da água pluvial, incentivando o desenvolvimento de novos hábitos da população no consumo racional da água e a adoção de novas fontes de abastecimento. Acredita-se que através da Lei nº 11.445/2007, referente à obrigatoriedade da elaboração dos planos municipais de saneamento básico, o número de município que adotem medidas de aproveitamento da água da chuva aumentem e disseminem a importância da conservação dos recursos hídricos.

No Estado do Rio Grande do Sul, o Município de Porto Alegre foi pioneiro na adoção de medidas sobre o tema. A Lei nº 10.506 de 2008, instituiu o Programa de

Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas, com o objetivo de promover medidas necessárias à conservação, à redução do desperdício e à utilização de fontes alternativas para a captação e o aproveitamento da água nas edificações, bem como à conscientização dos usuários sobre a sua importância para a vida.

Diante disso, e com a finalidade de diminuir o consumo de água potável e maximizar o aproveitamento da água pluvial, foram desenvolvidas normas técnicas voltadas às condições de instalações do sistema de captação.

Inicialmente, no ano de 1989, foi publicada pela ABNT a NBR 10.844, denominada “Instalações prediais de águas pluviais”, caracterizada por critérios e exigências necessários para a execução de projetos das instalações de drenagem de águas, com a finalidade de garantir níveis de funcionalidade, segurança, higiene, conforto, durabilidade e economia, sendo que a norma aplica-se em coberturas de edifícios, terraços, pátios, quintais e etc (BRASIL, ABNT, 1989).

Em 2007, surge a NBR 15.527, intitulada “Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos”, apresentando como objetivo principal: “Fornecer os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Aplica-se a usos não potáveis em que as águas de chuva podem ser utilizadas após tratamento adequado como, por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais” (BRASIL, ABNT, 2007).

2.5 Sistema de captação de água de chuva

O sistema de captação da água pluvial pode ser simples ou de complexas instalações podendo conter diversos tipos de dispositivos. Os sistemas simples dependem fundamentalmente de três elementos: precipitação, condutos horizontais e verticais e do reservatório de armazenamento. Já os sistemas complexos, são indicados para empreendimentos de grande porte, pois requerem assistência profissional, investimentos e reservatórios maiores ou interligados para armazenar grandes volumes de água (WATERFALL, 2002).

Independente do tipo de sistema a serem adotados, as condições ambientais locais, climatológicas, fatores econômicos e espaciais devem ser analisados, a fim de viabilizar a implantação do sistema.

Para Cilento (2009), a superfície de captação da água da pluvial e o reservatório para armazenamento da água são as estruturas principais que compõem o sistema de captação. Já para Tomaz (2003), considera que os fatores mais importantes para o bom funcionamento do sistema são: precipitação do local, área de captação e a demanda que o empreendimento necessita.

A interligação das estruturas ocorre através de condutos horizontais (calhas) e verticais (canos), grades, filtros e caixa de armazenamento da primeira chuva, quando necessário. O sistema poderá trabalhar por gravidade ou através da inserção de bombas para realizar a condução da água para outros reservatórios.

Além da NBR 15.527 (2007), uma parceria entre a Agência Nacional das Águas – ANA, a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP e o Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo – SindusCon (ANA, FIESP e SindusCon-SP, 2005) elaboraram o Manual de Conservação e Reuso da Água em Edificações, apresentando uma metodologia básica para o projeto de sistemas de coleta, tratamento e uso de água de chuva, conforme apresentado na Figura 3 e descrito através das seguintes etapas:

- Determinação da precipitação média local (mm.mês^{-1});
- Determinação da área de coleta;
- Determinação do coeficiente de escoamento;
- Projeto dos sistemas complementares (grades, filtros, tubulações, etc.);
- Projeto do reservatório de descarte;
- Escolha do sistema de tratamento necessário;
- Projeto da cisterna;
- Caracterização da qualidade da água pluvial;
- Identificação dos usos da água (demanda e qualidade).

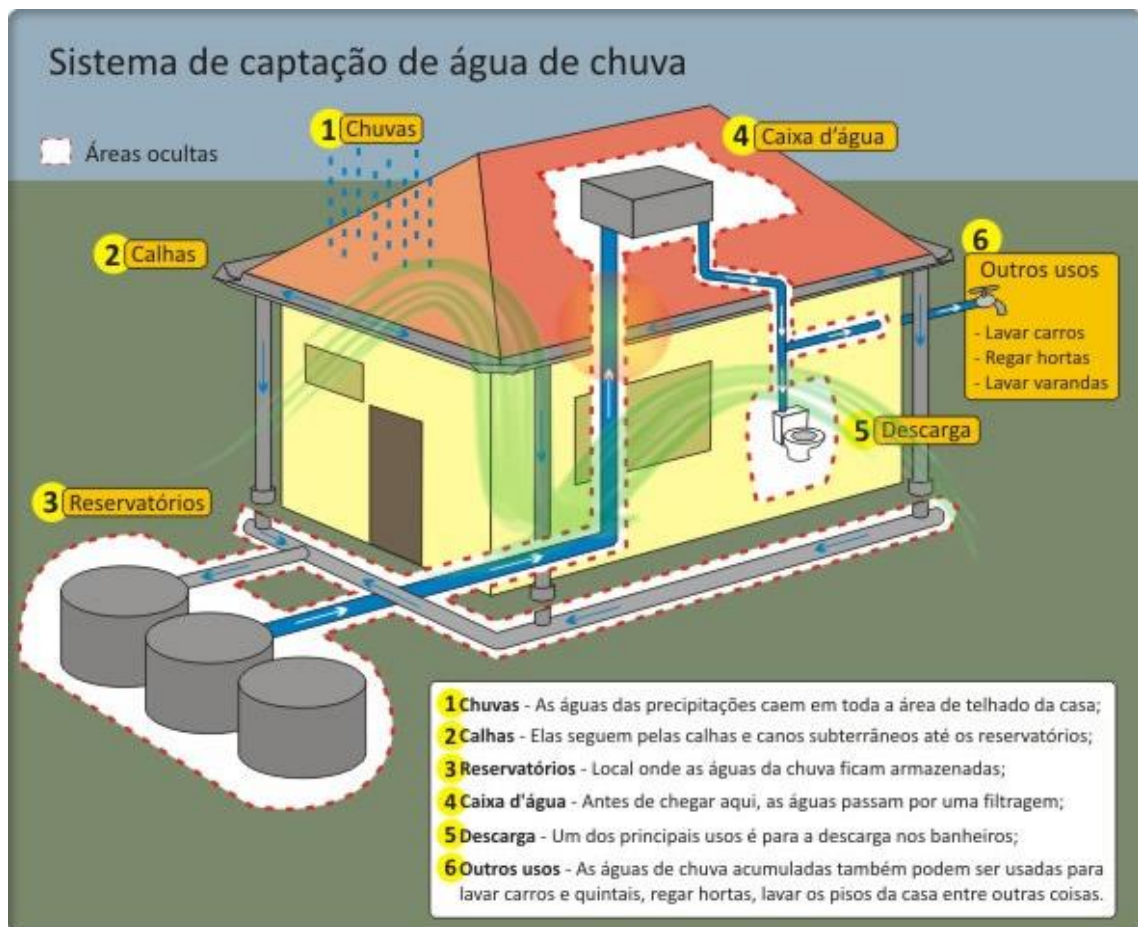


Figura 3. Componentes do sistema de captação da água de chuva. (Fonte: <http://www.clareando.com.br/interno.asp?conteudo=solucoes>)

Para compor o sistema, podem ser inseridos dispositivos para o tratamento da água como, por exemplo, filtração e desinfecção da água. A qualidade da água coletada irá depender da finalidade do aproveitamento.

Para Mano e Schmitt (2004), a água de chuva pode se utilizada de forma parcial ou total. O uso parcial compreende aplicações específicas no aproveitamento como, por exemplo, utilização da água somente para a lavagem de veículos. Já o uso total abrange o fornecimento da água para o consumo humano, higiene pessoal, alimentação, entre outras aplicações.

O tratamento da água pluvial irá depender da destinação final a qual será dada. Utilização da água para fins não potáveis não necessitam de longos processos de purificação. Para um tratamento simples, podem-se usar processos de sedimentação natural, filtração simples e cloração. Já a água captada que será dada para consumo humano, recomenda-se utilizar tratamentos mais complexos, como desinfecção por ultravioleta ou osmose reversa (MAY & PRADO, 2004).

A água de chuva, utilizada como fonte alternativa para o consumo, é citada por Mierzwa et. al (2007), Seeger et al. (2007), May (2004), Kobiyana et al. (2002), Tomaz (2003), como uma ação que minimiza o problema ambiental causado pela escassez de água, mesmo para usos não potáveis.

Muitos autores comentam sobre o benefício da instalação dos sistemas de captação de águas pluviais para redução de alagamentos. Já Tucci (2007), considera que o aproveitamento de água de chuva pode ser útil como fonte de abastecimento de água não potável, mas alerta que contribui pouco para o controle de alagamentos.

Rebouças (2004) comenta que independe da escassez de água ou da abundância de sua disponibilidade em determinadas regiões, ela deve ser utilizada com moderação, sempre avaliando a possibilidade de obtê-la por fontes alternativas.

2.6 Reservatório de armazenamento

O reservatório de armazenamento de água pluvial tem a função de reter e acumular a água captada. O dimensionamento depende de três fatores principais: demanda a ser atendida, área de captação e características pluviais do local (ANA, 2004). Segundo Tomaz (2005), o dimensionamento do reservatório para um sistema de aproveitamento de água pluvial representa a maior parte do investimento, apresentando-se como sendo o principal componente do sistema, uma vez que este determinará a viabilidade técnico-econômica.

Em muitos casos, a precipitação que ocorre no local nem sempre será suficiente para atender a demanda exigida, da mesma forma que nem sempre será possível armazenar toda a chuva precipitada por questões econômicas e espaciais. Desta forma, é indispensável que o dimensionamento do reservatório seja compatível com a produção x demanda.

Os reservatórios podem ser apoiados, elevados ou enterrados, assim como existe uma diversidade de materiais para sua fabricação, sendo de concreto armado, alvenaria de bloco armado, plásticos, poliéster, PVC, alvenaria de tijolos comuns, entre outros. Entretanto alguns cuidados são necessários para manter a qualidade da água que será armazenada. O manual da ANA/FIESP & SindusCon-SP (2005)

apresenta algumas características construtivas que devem ser respeitadas pelos reservatórios e alguns cuidados a serem tomados, entre eles:

- Evitar a entrada de luz do sol no reservatório para diminuir a proliferação de algas e microrganismos;
- Manter a tampa de inspeção fechada;
- Colocar grade ou tela na extremidade de saída do tubo extravasor, para evitar a entrada de pequenos animais;
- Realizar a limpeza anual do reservatório, removendo os sedimentos;
- Projetar o reservatório de armazenamento com declividade no fundo na direção da tubulação de drenagem, para facilitar a limpeza;
- Assegurar que a água coletada seja utilizada somente para fins não-potáveis.

Existem vários métodos de dimensionamento de reservatórios disponíveis na literatura, inclusive indicados na NBR 15527:2007 e devem ser analisados de acordo com as características no local (BRASIL, ABNT, 2007).

2.7 Qualidade da água captada para fins não potáveis

A adoção de práticas de manutenção e limpeza do sistema de captação de água pluvial, a inserção de grades e filtros e o descarte dos primeiros momentos de chuva, contribuem para a qualidade da água que será armazenada. Outros equipamentos podem ser adotados para melhorar a qualidade da mesma, entretanto, dependerá da finalidade de utilização da água, pois poderá acarretar na inviabilidade do sistema em função de custos investidos.

A região onde o sistema de captação está instalado pode contribuir para a qualidade da água e no uso recomendado para a mesma (MAESTRI, 2003). Philippi et al. (2006) enfatizam que diversos fatores influenciam a qualidade da água da chuva e dentre estes se destacam: a localização geográfica da área de captação (proximidade do oceano, áreas urbanas ou rurais), a presença de vegetação, a presença de carga poluidora e a composição dos materiais que formam o sistema de captação e armazenamento (telhados, calhas e reservatório).

A qualidade da água da chuva varia tanto com o grau de poluição do ar como também com a limpeza do sistema de captação. Tomaz (2003) comenta que em áreas muito urbanizadas e polos industriais, devido a poluentes presentes no ar,

como dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) ou ainda chumbo, zinco e outros, ocasionam alterações nas concentrações naturais da água de chuva.

GROUP RAINDROPS (2002) apud SILVA (2007) apresentam no Quadro 1 as aplicações da água conforme o local de captação e sua qualidade.

Quadro 1. Qualidade da água de acordo com o local de coleta.

Grau de qualidade	Local de coleta da chuva	Observações
A	Telhados (locais não ocupados por pessoas ou animais).	Lavar banheiros, regar plantas, pode ser destinada para o consumo humano se purificada.
B	Telhados (Locais frequentados por pessoas e animais).	Somente para usos não potáveis (lavar banheiros, regar plantas), após pequeno tratamento, não pode ser destinada para beber.
C	Terraços e áreas impermeabilizadas; Áreas de estacionamento.	É necessário tratamento mesmo para usos não potáveis.
D	Estradas; Vias férreas elevadas.	Mesmo para usos não potáveis, necessita de tratamento.

Fonte: GROUP RAINDROPS, 2002 apud SILVA, 2007

a. Padrão da Qualidade da água da Chuva

A qualidade da água da chuva para o aproveitamento, é uma questão muito importante já que cada finalidade de uso necessita de parâmetros de qualidade diferentes, observando que quando houver contato humano com a água deve-se preservar a saúde do indivíduo (KINKER, 2009).

Diante das possibilidades de utilização da água da chuva, GROUP RAINDROPS (2002) apud SILVA (2007) apresentam na Tabela 1 recomendações de tratamento para os diferentes usos da água.

Tabela 1. Diferentes níveis de qualidade da água exigidos conforme o uso

Uso da água da chuva	Tratamento da água
Irrigação de jardins	Não é necessário nenhum tratamento.
Irigadores, combate a incêndio, condicionadores de ar	É necessário cuidados para manter os equipamentos em boas condições.
Sistemas decorativos aquáticos como lagoas, fontes, chafarizes, espelhos e quedas d'água, descargas sanitárias em banheiros, lavagem de roupas e lavagem de carros	Tratamento higiênico, devido possível contato da água com as pessoas.
Banho/ piscina, consumo humanos e preparo de alimentos	Desinfecção, pois a água é ingerida direta ou indiretamente.

Fonte: GROUP RAINSDROPS, 2002 apud SILVA, 2007.

Caso o aproveitamento das águas pluviais seja para fins potáveis, será necessário um tratamento para alcançar o nível de potabilidade estabelecido na portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, válida para o Brasil.

2.8 Uso da água pluvial para a lavagem de veículos

A utilização da água da chuva para a lavagem de veículos deve possuir as características específicas, não devendo apresentar: mau-cheiro, ser abrasiva; manchar superfícies; conter sais ou substâncias remanescentes após secagem; propiciar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana (SINDUSCON, 2005).

Em muitos países da Europa, no Japão e Estados Unidos, a atividade de lavagem de veículos é regulamentada por meio de legislações específicas para empreendimentos de pequeno a grande porte. Já no Brasil, esta conscientização ainda não é praticada.

O volume de água gasto para a lavagem dos veículos depende dos equipamentos que são utilizados para esta prática, como máquinas, mangueiras de alta pressão, mangueiras, dentre outras alternativas disponíveis no mercado. Braga (2005), afirma que para lavar um veículo são utilizados aproximadamente 150 litros de água. Para Morelli (2005), são gastos aproximadamente 250 litros de água para a lavagem de cada carro e aproximadamente 600 litros de água por ônibus de transporte urbano.

2.9 Análise Econômica

Além das questões ambientais, o potencial econômico do aproveitamento da água da chuva é um fator importante a ser verificado e analisado, uma vez que a partir deste será possível definir se a implantação do sistema será viável ou não, financeiramente.

A análise econômica é baseada em uma estimativa de custos resultantes da implementação de todo o sistema: materiais e equipamentos, mão de obra e custos de energia elétrica devido a necessidade de bombeamento da água.

Outro quesito que deve ser mensurado e que influenciará na decisão do investimento, é a determinação dos custos relativos ao consumo de água potável

proveniente do abastecimento público, não considerando o aproveitamento de água pluvial. Este consumo é analisado através da tarifa da água da concessionária responsável pelo abastecimento local.

A composição da tarifa de água é oriunda de 3 aspectos: custos de operação e manutenção, custos econômicos e efeitos ambientais (OECD, 2010). Dornelles (2012) salienta que esta composição é a soma dos custos de operação e manutenção, custos causados pelo aumento dos conflitos do uso da água e pela degradação de sua qualidade, por possíveis efeitos das alterações climáticas e pela má gestão dos recursos hídricos.

Diante disso, prevê-se que a tendência da tarifa da água é aumentar gradativamente em virtude dos fatores comentados e, concomitantemente prevê-se estímulo na implementação de sistemas de captação e aproveitamento da água da chuva, através da redução do tempo de retorno do investimento.

a. Tarifa de água e esgoto gerado no município de Pelotas

A Lei municipal nº 6.294 de 2015, estabelece critérios na cobrança pelo fornecimento de água, coleta e tratamento de efluentes pelo SANEP (Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas), sendo a estrutura tarifária é dividida em categorias e de acordo com o consumo medido por metro cúbico.

As categorias são divididas em: I – residencial; II - residencial social; III – Filantrópica; IV – Comercial ou ser Serviço; V – Industrial; VI – Pública e VII – Templos religiosos e casas de religião. O enquadramento para o empreendimento em estudo, o mesmo encontra-se na categoria IV como sendo prestadora de serviços.

De acordo com o artigo 6º da referida Lei municipal, a cobrança pelo esgoto gerado é realizada conforme a distribuição da rede de coleta de efluentes presente no município de Pelotas, sendo que:

- Efluente coletado e tratado – cobrança de 80% da tarifa da água consumida;
- Efluente coletado e afastado (sem tratamento) – cobrança de 60% da tarifa da água consumida;

- Efluente lançado diretamente no sistema de drenagem – cobrança de 30% da tarifa da água consumida;
- Efluente lançado diretamente no sistema de drenagem quando não existe prestação de serviços de manutenção e desobstrução por parte do SANEP – Sem cobrança.

A Tabela 3 apresenta a tarifa cobrada para o abastecimento de água e coleta de esgoto gerado.

Tabela 2. Matriz tarifária do município de Pelotas – RS.

Categoria IV: Comercial/ Serviços				
Serviço Básico	R\$ 32,35			
Preço Base (R\$/m³)	Água	Esgoto		
	-	30%	60%	80%
Até 10 m³	R\$ 4,35	R\$ 1,31	R\$ 2,61	R\$ 3,48
De 11 m³ até 15 m³	R\$ 5,00	R\$ 1,50	R\$ 3,00	R\$ 4,00
De 16 m³ até 20 m³	R\$ 5,75	R\$ 1,73	R\$ 3,45	R\$ 4,60
De 21 m³ até 30 m³	R\$ 6,62	R\$ 1,99	R\$ 3,97	R\$ 5,30
De 31 m³ até 50 m³	R\$ 7,61	R\$ 2,28	R\$ 4,57	R\$ 6,09
De 51 m³ até 100 m³	R\$ 8,75	R\$ 2,63	R\$ 5,25	R\$ 7,00
Acima de 100 m³	R\$ 10,07	R\$ 3,02	R\$ 6,04	R\$ 8,06

Fonte: Lei municipal nº 6.294/ 2015.

A instalação de sistemas de aproveitamento da água da chuva, promove redução e economia do consumo de água proveniente da rede de abastecimento, contudo a geração de esgoto sanitário não diminui. Dornelles (2012) comenta que independente da fonte de água (canalizada, poço, caminhão pipa ou água da chuva), a cobrança pelo esgoto gerado deve ser cobrada.

Diante disso, a Lei municipal nº 6.294 de 2015, estabelece em seu artigo 8º:

Art. 8º Os imóveis que estiverem ligados à rede pública de esgoto e possuírem fontes próprias de abastecimento, ou aproveitamento de água de chuva, devem possuir também medição de água da fonte alternativa, objetivando faturamento e cobrança do volume de esgoto produzido.

Desta forma, além da medição convencional do fornecimento de água pela concessionária, é necessário a instalação de um registro de medição para o volume de água que será captado pelo sistema de aproveitamento da água pluvial, a fim de mensurar o volume de água que será descartado para a rede de esgoto, para os imóveis que estiverem ligados à ela.

3. METODOLOGIA

3.1 Procedimentos

Inicialmente, para a elaboração do projeto de captação de água da chuva, foram realizados estudos e levantamento de alternativas para o desenvolvimento do mesmo, através de livros, normas, legislações, manuais e trabalhos técnicos, relacionados ao tema central do trabalho, a fim de utilizar a água no setor de lavagem e limpeza dos veículos de empresa de transporte rodoviário de passageiros e também para a realização da limpeza dos pisos do setor da manutenção do empreendimento.

As informações e os dados necessários referentes à empresa como, quantidade de veículos lavados por dia, volume de água necessário para cada lavagem, equipamentos utilizados na operação, dias da semana em que o setor da opera, área de telhado da empresa e medições das estruturas existentes, foram coletadas mediante visitas ao local e também através de conversas com o responsável pelo setor de manutenção da empresa.

De posse das informações, foi realizado o dimensionamento do reservatório, do sistema de bombeamento, levantamento de custos relacionados ao consumo e a previsão de economia de água potável, a fim de verificar a viabilidade econômica do sistema de captação de água pluvial para o empreendimento.

3.2 Caracterização e área de estudo

O município de Pelotas está localizado no extremo sul do Estado do Rio Grande do Sul – RS, às margens do Canal São Gonçalo o qual liga a Laguna dos Patos e a Lagoa Mirim, sendo estas as maiores do Brasil. Apresenta latitude 31°46'34" S, longitude 52°21'34" W (Sistema de Coordenadas: WGS – 84 Fuso 22S; Projeção: Universal Transversa de Mercator) e altitude média de 9 m e conta com área total de aproximadamente 1610 km², conforme Figura 4.

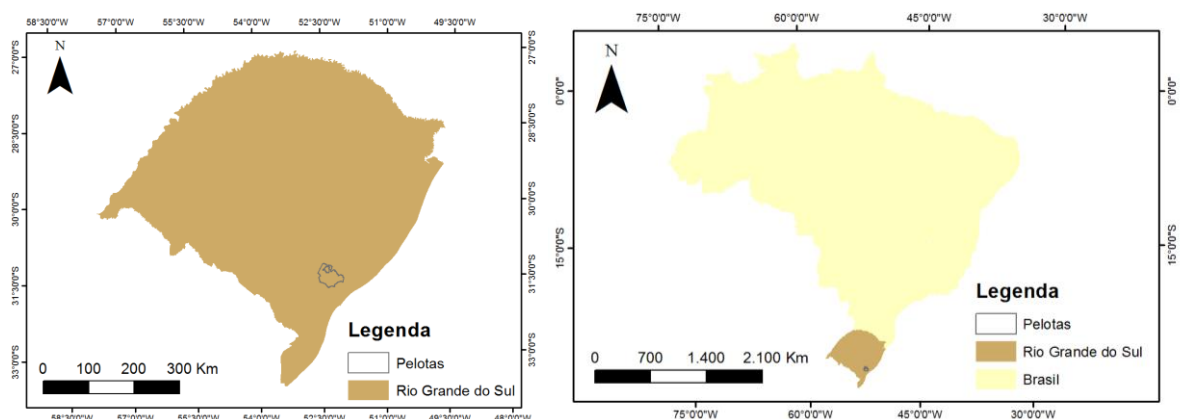


Figura 4. Localização do município de Pelotas – RS.

O trabalho foi desenvolvido na Empresa Expresso Embaixador, do ramo de transporte intermunicipal de passageiros, localizada na Rua Giuseppe Garibaldi nº 660, Centro, no Município de Pelotas – RS, especificamente nas coordenadas $31^{\circ}77'66''$ S e $52^{\circ}33'03''$ W (Sistema de Coordenadas: WGS – 84 Fuso 22S; Projeção: Universal Traversa de Mercator), conforme apresentado na Figura 5. O empreendimento compreende 13.000 m^2 , onde funcionam as atividades administrativas e operacionais.



Figura 5. Mapa de localização da empresa Expresso Embaixador no município de Pelotas – RS.

Atualmente, a empresa conta com uma frota de 100 veículos, os quais realizam transporte rodoviário intermunicipal de passageiros em diversos municípios da Região Sul do Estado. O setor de lavagem dos veículos opera através do funcionamento de duas máquinas de lavagem e mangueiras de alta pressão, sendo que são lavados 95 veículos por dia, todos os dias da semana. A Figura 6 demonstra o funcionamento do processo de lavagem externa.



Figura 6. Processo de lavagem externa da empresa Expresso Embaixador.

Além da lavagem externa é realizada a limpeza interna dos veículos, bem como a lavagem das cabeceiras (capa das poltronas dos veículos). A limpeza interna é realizada por funcionários de forma manual e a lavagem das cabeceiras é realizada por uma máquina própria para lavar.

3.3 Dimensionamento do sistema de captação de água da chuva

3.3.1 Previsão de consumo

A demanda de água necessária para realização das atividades de limpeza dos veículos foi verificada de acordo com o volume de água utilizado para o funcionamento da máquina de lavagem, mangueira de alta pressão, limpeza interna, lavagem das cabeceiras (capa das poltronas) e limpeza do piso do setor de manutenção da empresa.

A lavagem inicia através da utilização da mangueira de alta pressão por um tempo médio de 5 minutos, essa apresenta vazão de 26 l.min^{-1} . Após, o veículo passa para a máquina de lavagem, na qual são necessários 300 litros de água para a limpeza de cada veículo, diariamente são lavados 95 ônibus. Para a limpeza interna, são gastos em média 3 litros de água para cada veículo. A máquina de lavar das cabeceiras consome 440 litros de água por lavagem. Diariamente são realizadas 6 lavagens, totalizando 44.200 litros de água por dia.

A limpeza do piso da manutenção é realizada semanalmente através da utilização das mangueiras de alta pressão (26 l.min^{-1}), por aproximadamente 10 minutos.

Na Tabela 4 são apresentadas as demandas diárias, mensais e anuais para a realização das atividades descritas.

Tabela 3. Demanda necessária para a lavagem dos veículos interna e externamente, cabeceiras e limpeza do piso do setor da manutenção.

Demanda	Unidade	Volume de água
Diária	$\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$	44,46
Mensal	$\text{m}^3.\text{mês}^{-1}$	1.333,86
Anual	$\text{m}^3.\text{ano}^{-1}$	16.006,37

3.3.2 Área de contribuição

A captação da água pluvial se dará através dos telhados da empresa que compreendem os setores de garagem (6.278 m^2), depósito (900 m^2), lavagem ($1.402,5 \text{ m}^2$) e oficina mecânica (1.964 m^2). Por ser uma área extensa de telhados, optou-se por fazer simulações com várias áreas a fim de verificar a alternativa mais viável. Os Apêndices A, B e C apresentam o esboço da planta do empreendimento e a localização das respectivas áreas de captação.

A Tabela 5 expõe as opções para a realização das simulações.

Tabela 4. Simulações de áreas de captação da água da chuva e o respectivo material.

Simulação	Setores	Tipo do telhado	Área total (m^2)
1	Garagens	Telha de metal e cerâmica	6.278
2	Garagens + lavagem + Depósito	Telha de metal e cerâmica	8.580,5
3	Garagens + Lavagem + Depósito + manutenção	Telha de metal e cerâmica	10.544

Neste contexto, segundo Tomaz (2003), o coeficiente de *runoff*, indicado pela letra “C”, varia conforme a composição do material do telhado de 0,8 a 0,90, sendo que quanto mais próximo a 1, maior é o escoamento de água. Essa perda de água que é considerada é resultante da limpeza do telhado, perda por evaporação, entre outras. A Tabela 6 expressa a variação do coeficiente de acordo com o material do telhado.

Tabela 5. Coeficientes de runoff médios

Material	Coeficiente de Runoff
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Cimento amianto	0,8 a 0,9
Plástico, PVC	0,9 a 0,95

Fonte: Tomaz (2003)

3.3.3 Característica da precipitação

Os dados de precipitação do município de Pelotas foram obtidos através da Estação Agroclimática de Pelotas (EAP), localizada no município de Capão do Leão (RS), à 7,5 km do centro de Pelotas – RS. A EAP é operada através de convênio entre a Embrapa Clima Temperado, a Universidade Federal de Pelotas e o Instituto Nacional de Meteorologia.

O pluviômetro encontra-se localizado na latitude 31°48'12" e longitude 52°24'41" e altitude 13,24 m (EAP, 2016). Este ponto fica a 8,25 km distante da empresa Expresso Embaixador. Os dados compreendem 36 anos de monitoramento (1980 a 2015), sendo escolhidos por representarem os últimos eventos de alagamentos e estiagem no município.

A série de dados de precipitação é diário, desta forma, para efeitos de escoamento da água sobre a superfície de captação, os dados inferiores à 1 mm não foram contabilizados, sendo que quando inferiores a este parâmetro, foram considerados como sem ocorrência de chuva no local.

Os apêndices E e F expõe os valores médios de precipitação mensal, anual, meses em que a precipitação resultou menor que 100 mm e o maior período de dias consecutivos sem a ocorrência de precipitação no município de Pelotas, no período correspondente ao estudo (1980 a 2015).

3.3.4 Reservatório de armazenamento

O reservatório para o armazenamento da água deve ser constituído de material resistente à corrosão ou ser provido internamente de revestimento anticorrosivo (NBR 5626/98).

Atualmente, encontram-se na literatura, em trabalhos técnicos e na norma NBR 15527 (ABNT, 2007), diversos métodos de dimensionamento de reservatório de

água da chuva. Alguns destes métodos foram aplicados e analisados neste trabalho a fim de selecionar o volume de reservatório viável de acordo com as condições espaciais, técnicas e econômicas do empreendimento.

a. Método de Rippl

Tomaz (2005) salienta que este método apresenta o valor extremo do volume do reservatório e é importante obtê-lo como referência máxima, frente aos demais volumes obtidos pela aplicação dos outros métodos.

A metodologia é baseada nas séries históricas de precipitações diárias ou mensais, na área de captação e no consumo de água. O somatório do volume de chuva e da demanda no mesmo período determinará o excesso ou a falta de água disponível no reservatório. Por meio dos volumes acumulados, verifica-se o volume máximo atingido o qual deverá ser considerado para o dimensionamento do reservatório, conforme pode ser observado através das equações 1,2 e 3.

$$Q_{(t)} = \frac{P_{(t)} * A * C}{1000} \quad \text{Equação 1}$$

Sendo:

$Q_{(t)}$: Volume de chuva captada no tempo t (m³);

$P_{(t)}$: Precipitação no tempo t (mm);

A: Área de captação (m²);

C: Coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

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

Sendo:

$S_{(t)}$: Volume de água no reservatório no tempo t (m³);

$Q_{(t)}$: Volume de chuva captada no tempo t (m³);

$D_{(t)}$: Demanda ou consumo no tempo t (m³).

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores } S_{(t)} > 0 \quad \text{Equação 3}$$

Os telhados do empreendimento são constituídos por materiais diferentes, os quais variam de acordo com os pavilhões analisados. Diante disso, e analisando as Tabelas 4 e 5, o coeficiente de runoff selecionado foi C= 0,85.

b. Método da Simulação

Este método consiste na avaliação do balanço hídrico dentro do reservatório, no qual define-se um volume para o mesmo e verifica-se a necessidade de suprimento de água externa para atender a demanda ou a ocorrência de extravasamento de água do reservatório (overflow). Segundo Tomaz (2005), para efetuar esses cálculos, é necessário admitir que os dados históricos disponíveis são representativos para condições futuras.

De acordo com a NBR 15527 (2007), para a aplicação deste método, a evaporação da água não é levada em conta.

Inicialmente calcula-se o volume de precipitação que atinge a superfície de captação através da equação 4.

$$Q_{(t)} = \frac{P_{(t)} * A * C}{1000} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

$Q_{(t)}$: Volume de chuva captada no tempo t (m^3);

$P_{(t)}$: Precipitação no tempo t (mm);

A : Área de captação (m^2);

C : Coeficiente de escoamento superficial (adimensional).

Em seguida, através da equação 5 calcula-se o balanço hídrico dentro do reservatório a fim de verificar a ocorrência de extravasamento ou necessidade de suprimento externo de água. Inicia-se com o reservatório em zero.

$$S_{(t)} = S_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo:

$S_{(t)}$: Volume de água no reservatório no tempo t (m^3);

$S_{(t-1)}$: Volume de água no reservatório no tempo $t-1$;

$Q_{(t)}$: Volume de chuva captada no tempo t (m^3);

$D_{(t)}$: Demanda ou consumo no tempo t (m^3).

É importante analisar os dados resultantes de cada operação, sendo que quando estes forem negativos, significa que houve a necessidade de suprimento de água de fonte externa, ou seja, o volume de água captado foi menor que o consumo de água do empreendimento. Para definir o volume do reservatório é necessário encontrar um ponto de equilíbrio entre a água extravasada do sistema e a

necessidade de abastecimento externo. A eficiência do sistema pode ser calculada através da equação 6.

$$E_f = \frac{N}{N_r} \quad \text{Equação 6}$$

Sendo:

E_f : Eficiência do sistema

N: N° de meses em que o reservatório consegue atender a demanda;

N_r : N° total de meses do período analisado.

A eficiência pode resultar em um valor muito baixo, neste caso adota-se outro valor de volume para o reservatório de modo que o método é iterativa, até que satisfaça-se os interesses do empreendimento (relação custo benefício).

c. Método Prático Brasileiro

Este método também é conhecido como Método Azevedo Neto. Sua metodologia é prática e consiste na manipulação da média anual de precipitação e também pelo somatório de meses com incidência de “pouca chuva”, calculado pela equação 7.

Para o estudo, o critério adotada para caracterizar o parâmetro “pouca chuva” foram os meses de seca (sem ocorrência de chuva) e meses em que a precipitação foi inferior a 100 mm.

$$V = 0,0042 * P * A * T \quad \text{Equação 7}$$

Sendo:

V: Volume do reservatório (m³);

P: Precipitação média anual (mm);

T: N° de meses de “pouca chuva” ou seca durante o ano;

A: Área de captação (m²).

d. Método Prático Inglês

Este método é simples e baseia-se no volume ideal para o reservatório de 5% da precipitação média anual captada, sendo que a demanda é desprezada. O volume do reservatório a ser utilizado é o maior valor resultante e pode ser calculado conforme equação 8.

$$V = 0,05 * A * P$$

Equação 8

Sendo:

V: Volume do reservatório (m³);

P: Precipitação média anual (mm);

A: Área de captação (m²).

e. Método Prático Alemão

Conforme descrito pela NBR 11527 (2007), é um método empírico, onde se aplica o parâmetro de menor valor: 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação captada (Equação 9).

$$V_{\text{adotado}} = \text{mín}(V_c; D) * 0,06$$

Equação 9

Sendo:

 V_{adotado} : Volume do reservatório (m³); V_c : Volume anual de água pluvial captada (m³);

D: Demanda anual de água não potável (m³).

f. Método Prático Australiano

Para aplicação deste método utiliza-se dados médios mensais de precipitação, área de captação e a demanda necessária, conforme segue descrito na equação 10.

$$Q = A * C * (P - I)$$

Equação 10

Sendo:

Q: Volume mensal de chuva captada (m³);

A: Área de captação (m²);

C: Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

P: Precipitação média mensal (mm);

I: Perdas (primeira chuva, evaporação, etc) (mm).

Segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007), o cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume, através das equações 11, 12 e 13.

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

Equação 11

Sendo:

 $V_{(t)}$: Volume de água que esta no reservatório no final do mês t (m³);

$V_{(t-1)}$: Volume de água que está no tanque no início do mês (m^3);
 $Q_{(t)}$: Volume mensal produzido pela chuva no mês t ;
 $D_{(t)}$: Demanda mensal (m^3).

Para efeitos de cálculo, considerar que no primeiro mês o reservatório esteja vazio.

$$\text{Quando } (V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)}) < 0, \text{ então o } V_{(t)} = 0 \quad \text{Equação 12}$$

Após a obtenção dos volumes de volume, calcula-se a confiança a fim de verificar a eficácia do reservatório, conforme segue a equação 13.

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad \text{Equação 13}$$

Sendo:

P_r : Falha;

N_r : N° de meses em que o reservatório não atendeu à demanda ($V_{(t)} = 0$);

N : N° de meses considerados.

$$\text{Confiança} = 1 - P_r \quad \text{Equação 14}$$

O método recomenda que os valores de confiança estejam entre 90% e 99%.

g. Método dias consecutivos sem chuva

Group Raindrops (2002) apresentaram esse método através da utilização dos dados históricos de precipitação que exibem o número de dias consecutivos sem chuva e da demanda de água necessária (equação 15).

$$V = C_d * D_{sc} \quad \text{Equação 15}$$

Sendo:

V : Volume do reservatório (m^3);

C_d : Consumo diário de água (m^3);

D_{sc} : Dias consecutivos sem chuva.

Entretanto, para conhecer os dias consecutivos sem chuva é necessário realizar um ajuste estatístico para a série histórica de precipitações analisada, conforme descrito abaixo:

- Inicialmente contabiliza o número de dias consecutivos sem chuva para cada ano da série histórica, neste caso, a precipitação inferior a 1 mm.
- Através da utilização do programa Excel, estes dados foram dispostos de forma decrescente, sendo que para os dados repetidos mantêm-se o de maior ordem e calcula-se a probabilidade através da equação 16.

$$P = \frac{m}{(n+1)} \quad \text{Equação 16}$$

Sendo:

P: Probabilidade;

m: n° de ordem;

n: n° total da série histórica analisada.

- Calcula-se o período de retorno (T_r) através da relação expressa na equação 17.

$$T_r = \frac{1}{P} \quad \text{Equação 17}$$

- Através da Lei de Gumbel, transforma o período de retorno em uma variável reduzida, através da aplicação da equação 18.

$$b = -\ln \left[\ln \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right] \quad \text{Equação 18}$$

De posse aos dados, faz-se o ajuste linear e aplica-se o período de retorno (T_r) para 10 anos, a fim de verificar o período de estiagem a ser aplicado na equação 15.

3.4 Bombeamento da água

A água captada será conduzida por meio de gravidade até o primeiro reservatório, a partir deste e através da instalação de uma bomba hidráulica, a água será conduzida para outro reservatório para posterior utilização.

A norma NBR 12214 (ABNT, 1992), intitulada “Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público”, apresenta condições para a elaboração destes projetos.

Para a execução destes projetos é necessário observar as recomendações das tubulações de sucção e recalque, alturas e vazão para o conjunto moto-bomba.

Após selecionada a potência da moto-bomba e verificada a respectiva vazão ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$) para o seu funcionamento, foram estimados o tempo de funcionamento diário e o número de dias de uso no mês. A determinação dos custos com energia elétrica devido ao bombeamento, utilizou-se os dados referentes às moto-bombas adotadas e os valores ($\text{R}\$. \text{kWh}^{-1}$) cobrados pela CEEE para a categoria em que se enquadra o empreendimento.

De acordo com Marinoski (2007), para determinar o consumo de energia elétrica gasto com o processo de bombeamento, utilizou-se a equação 19. Neste estudo não foi acrescido os impostos cobrados pela companhia de fornecimento de energia.

$$C_{EE} = P_{MB} * t * V_{CEEE} \quad \text{Equação 19}$$

Sendo:

C_{EE} : Custo mensal de energia elétrica para o bombeamento da água pluvial (R\$);

P_{MB} : Potência da moto-bomba (kW);

t : Tempo de funcionamento da moto-bomba ($\text{h}.\text{dia}^{-1}$);

V_{CEEE} : Valor cobrado pela CEEE pela energia elétrica consumida ($\text{R}\$. \text{kWh}^{-1}$).

a) Cobrança CEEE pela energia elétrica

O valor cobrado pela CEEE (Companhia Estadual de Energia Elétrica) foi verificado conforme tarifa cobrada atualmente à empresa, entretanto tal tarifa não é fixa em função das taxas atribuídas conforme o consumo mensal.

Desta forma, foi realizada a média da tarifa de consumo ativo de ponta e fora de ponta, os quais correspondem aos horários de utilização da energia. A média da tarifa resultou no valor de R\$ 1,05 kWh, sem adicional de bandeiras (verde, amarela e vermelhas).

Sendo assim, para efeitos de cálculo, será utilizado o valor fixo de R\$ 1,05 kWh.

3.5 Viabilidade econômica

a) Custos de água e esgoto descartado no município (antes da instalação do sistema de captação de água pluvial)

Para estimar o valor que seria gasto com o abastecimento público de água para executar os serviços de lavagem e limpeza dos veículos, caso o empreendimento não instalasse o sistema de captação de água pluvial, foi calculado seguindo 3 equações, atendendo os parâmetros descritos na legislação municipal nº 6.294 de 2015, a qual descreve a matriz tarifária cobrada para o abastecimento e coleta do esgoto gerado.

Inicialmente foi calculado o volume médio mensal de água consumida para o atendimento das atividades da empresa (lavagem interna e externa dos veículos, lavanderia e limpeza do setor de manutenção), conforme equação 20.

$$V_{AC} = (V_{máq} + V_{mag} + V_{lav} + V_{LI} + V_{man}) \quad \text{Equação 20}$$

Sendo:

V_{AC} : Volume médio mensal de água consumida ($m^3.mês^{-1}$);

$V_{máq}$: Volume médio mensal de água utilizada pela máquina de lavagem ($m^3.mês^{-1}$);

V_{mag} : Volume médio mensal de água utilizada pela mangueira ($m^3.mês^{-1}$);

V_{lav} : Volume médio mensal de água utilizado na lavanderia ($m^3.mês^{-1}$);

V_{LI} : Volume médio mensal de água utilizado na lavagem interna dos veículos ($m^3.mês^{-1}$);

V_{man} : Volume médio mensal de água utilizado na limpeza do setor da manutenção ($m^3.mês^{-1}$).

De posse ao volume médio mensal de água consumida, calculou-se o custo médio mensal para o abastecimento de água e esgoto descartado, expresso pela equação 21.

$$C_{Ab} = T_{SB} + (T_{VAC} * V_{AC}) + (V_{AC} * P_{EG}) \quad \text{Equação 21}$$

Sendo:

C_{Ab} : Custo médio mensal de água para o abastecimento ($R\$.mês^{-1}$);

T_{SB} : Taxa de Serviço básico ($R\$.mês^{-1}$);

T_{VAC} : Taxa do volume médio de água consumido ($R\$.m^{-3}$);

V_{AC} : Volume médio mensal de água consumida ($m^3.mês^{-1}$);

P_{EG} : Percentual de esgoto gerado de acordo com a distribuição da rede de esgoto do município ($R\$.m^{-3}$).

b) Custos de água e esgoto descartado no município (após instalação do sistema de captação de água pluvial)

Após a instalação do sistema de captação da água de chuva, existirão dias em que a água armazenada nos reservatórios não será suficiente para atender a demanda da empresa. Neste sentido, e para continuar a realização das atividades dependentes de água, será necessário que o abastecimento de água municipal complemente o sistema.

Para quantificar o suprimento médio de água, será necessário analisar o balanço hídrico do interior do reservatório, conforme proposto pelo método da simulação.

$$C_B = T_{SB} + (T_{VAC} * V_{AS}) + (V_{AS} * P_{EG}) \quad \text{Equação 22}$$

Sendo:

C_B : Custo médio mensal de água potável para o suprimento da demanda (R\$.mês⁻¹);

T_{SB} : Taxa de Serviço básico (R\$ mês⁻¹);

T_{VAC} : Taxa do volume médio de água consumido (R\$.m⁻³);

V_{AS} : Volume médio mensal de água necessário para o suprimento da demanda (m³.mês⁻¹);

P_{EG} : Percentual de esgoto gerado de acordo com a distribuição da rede de esgoto do município (R\$.m⁻³).

Através da equação 22, foi possível verificar qual seria o novo custo médio mensal de água potável que a empresa pagaria após a instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial.

c) Economia após a instalação do sistema de captação de água pluvial

Para verificar a viabilidade econômica, e conforme metodologia proposta por Marinoski (2007), foi efetuada a diferença entre o custo médio mensal de água proveniente do abastecimento público (antes da instalação do sistema) e o custo médio mensal de água (após a instalação do sistema) somado ao custo da energia elétrica necessária para o funcionamento do mesmo, apresentado conforme apresentado na equação 23.

$$E = C_{Ab} - (C_B + C_{EE}) \quad \text{Equação 23}$$

Sendo:

E: Economia média mensal após a instalação do sistema de aproveitamento de água da chuva ($\text{R}\$. \text{mês}^{-1}$);

C_{Ab} : Custo médio mensal de água para o abastecimento (antes da instalação do sistema) ($\text{R}\$. \text{mês}^{-1}$)

C_B : Custo médio mensal de água potável para o suprimento da demanda (após instalação do sistema) ($\text{R}\$. \text{mês}^{-1}$);

C_{EE} : Custo médio mensal de energia elétrica para bombeamento da água no sistema ($\text{R}\$. \text{mês}^{-1}$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Potencial de aproveitamento da água da chuva em Pelotas

Conforme o período analisado de precipitação no município de Pelotas, de 36 anos, desde 1980 até 2015, contemplam um total de 13.148 dias de verificação, sendo que destes, aproximadamente 72,8% dos dias, ou seja, 9.571 dias não registraram ocorrência de precipitação.

A Figura 7 apresenta o total de precipitação anual no município de Pelotas no período analisado, evidenciando a média anual municipal e regional.

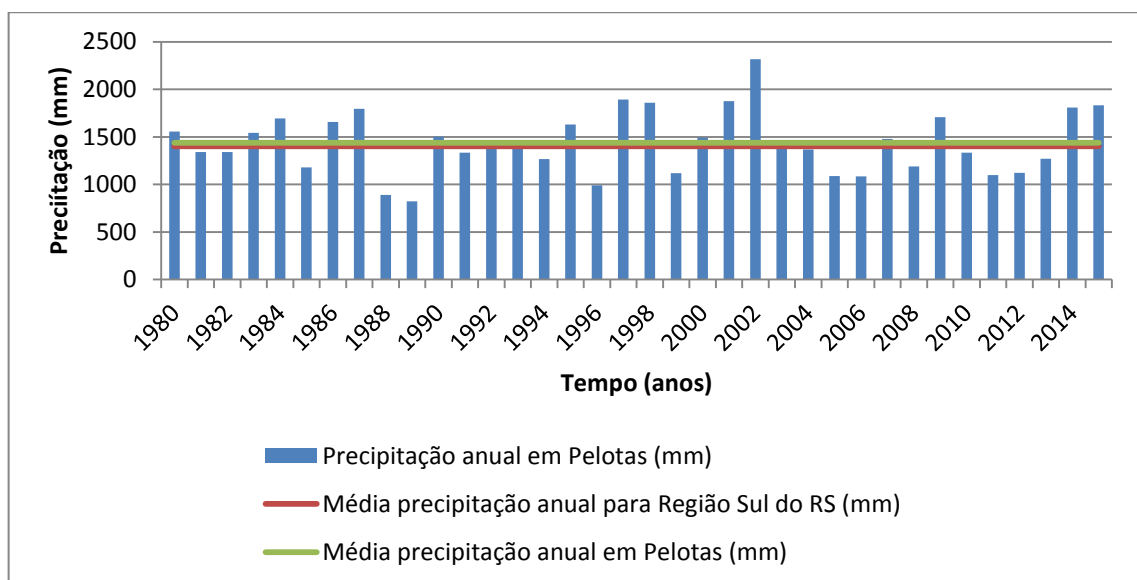


Figura 7. Precipitação anual no município de Pelotas no período de 1980 a 2015.

A média de precipitação para a Região Sul do Estado do Rio Grande do Sul é de 1299 mm à 1500 mm. Para o período analisado, o município de Pelotas apresentou média anual de 1438 mm, com máxima de 2315 mm no ano de 2002 e mínima de 823 mm no ano de 1989, conforme por der observado na Figura 8. Diante disso, é possível observar que a distribuição da precipitação é praticamente regular no período analisando, com desvio padrão de aproximadamente 320 mm de precipitação entre as máximas e mínimas registradas.

Já a Figura 8, apresenta as médias mensais para o município de Pelotas, durante o período analisado, juntamente com a média estadual para a Região Sul do Estado.

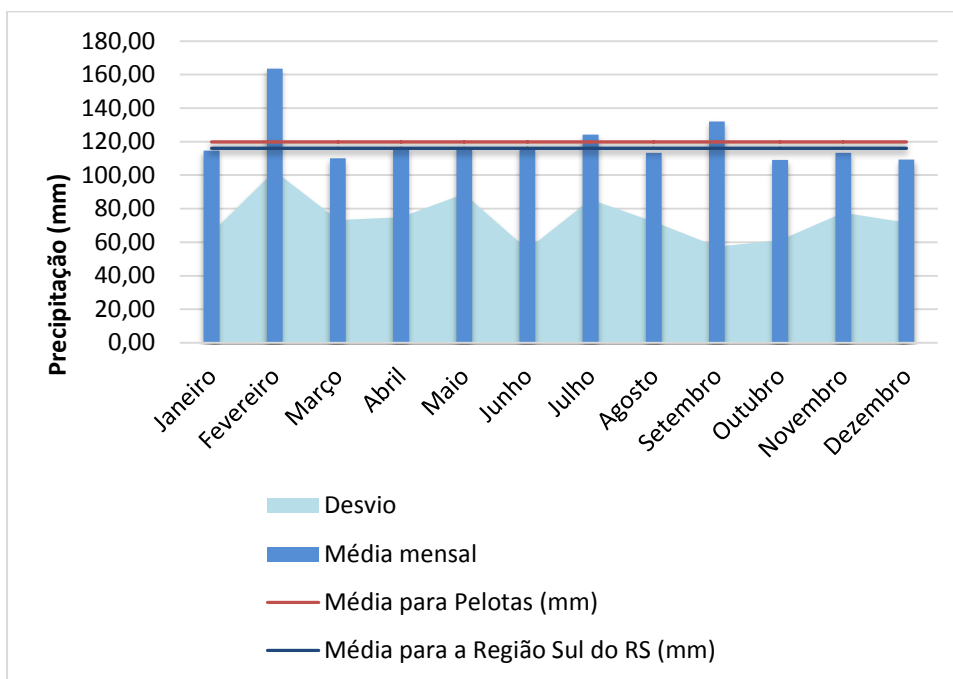


Figura 8. Precipitação média mensal no município de Pelotas no período de 1980 a 2015.

Analisando a Figura 8 é possível observar que a distribuição mensal da precipitação no município de Pelotas é regular, não apresentando grandes variações nas diferentes estações do ano, exceto no mês de fevereiro, onde este foi superior comparado aos demais meses, no entanto, quando analisado o desvio padrão mensal dos dados, pode-se considerar que tais resultados de precipitação foram casos isolados acarretando no aumento da média.

Esta análise da precipitação no município proporciona maior segurança para o dimensionamento do reservatório de armazenamento da chuva captada, uma vez que, conforme comentado por Cohim et al. (2008), altos índices pluviométricos e distribuições mais constantes das precipitações ao longo do ano permitem a utilização de menores volumes de reservação.

As Figuras 9, 10 e 11 apresentam a capacidade de captação da água da chuva, considerando as 3 simulações de tamanho de área (6.278 m², 8.580,5 m² e 10.544 m²), o coeficiente de escoamento de acordo com o material do telhado da Empresa e a precipitação no município de Pelotas durante o período de 36 anos, juntamente com a média de captação diária para os 3 casos.

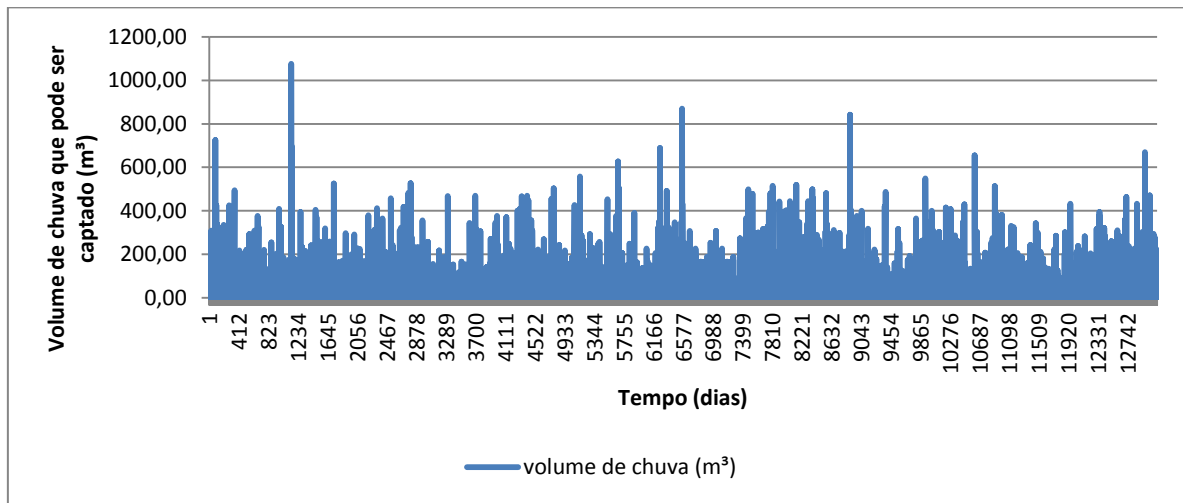


Figura 9. Volume de chuva possível de captar para simulação 1 (6.728 m²).

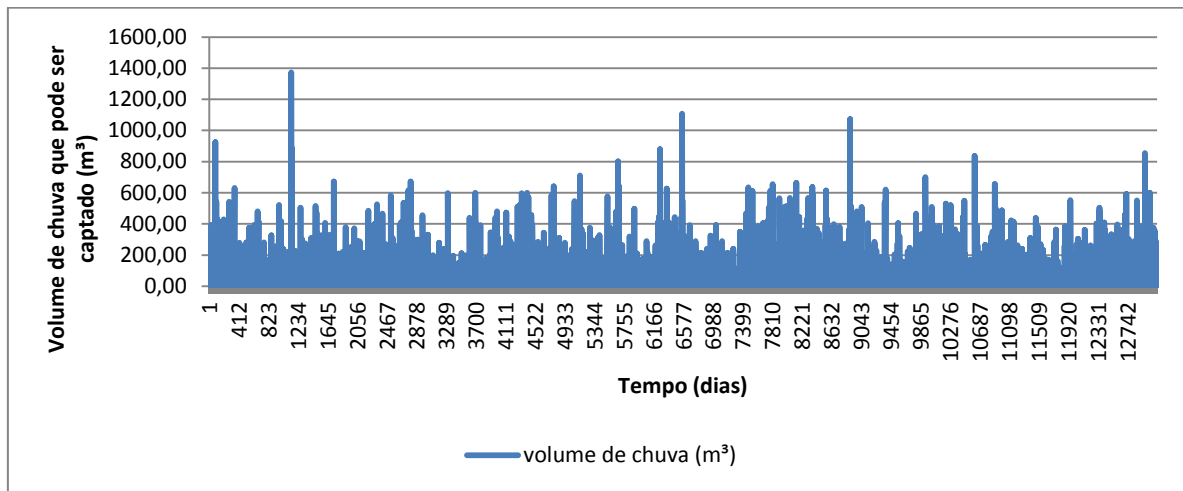


Figura 10. Volume de chuva possível de captar para simulação 2 (8.580,5 m²).

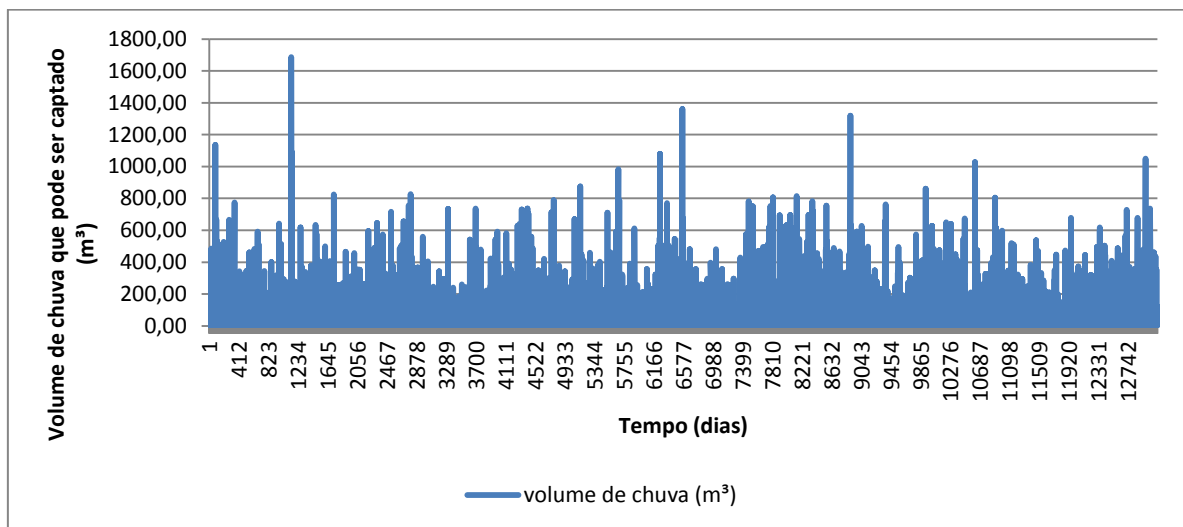


Figura 11. Volume de chuva possível de captar para simulação 3 (10.544 m²).

Conforme pode ser observado, e também comentado por Carvalho et al. (2007), o tamanho da área de captação influencia no volume de água captada, ou seja, quanto maior a área, maior o volume de chuva aproveitável.

Também é possível observar que os picos de volume de água pluvial possível de ser captada, nas 3 situações, geralmente são casos isolados, indicando que a adoção de grandes reservatórios para o armazenamento desses volumes nem sempre será o mais aconselhável e aplicável ao empreendimento, devido a disponibilidade de espaço para a instalação do reservatório.

O crescimento da média do volume de captação diária da simulação 1 (Figura 9) em comparação a simulação 2 (Figura 10) é de aproximadamente 37%. Já o crescimento da simulação 2 (Figura 10) em comparação com a simulação 3 (Figura 11) é de aproximadamente 23%. Tal crescimento na média de captação de água remete ao decréscimo no volume do reservatório em cada método aplicado, uma vez que a demanda de água necessária para o atendimento das atividades da empresa permanece constante para as 3 simulações realizadas.

Entretanto, concordando com Cohim (2008), quanto maior a precipitação anual, maior o volume de água possível de ser captado, porém o seu aproveitamento depende do tamanho do reservatório que será adotado.

4.2 Dimensionamento do reservatório de armazenamento da água da chuva

Através da manipulação dos dados de precipitação (mensal, anual e dias consecutivos sem chuva), variação da área de cobertura de captação e demanda de água necessária para o desenvolvimento das atividades da empresa, aplicados nos métodos (Rippl, Dias consecutivos sem chuva e Práticos Brasileiro, Alemão e Inglês) para o dimensionamento do reservatório de armazenamento de água, resultaram em múltiplos volumes, os quais podem ser observados através da Tabela 7.

Tabela 6. Resultados dos volumes dos reservatórios através da aplicação dos métodos de dimensionamento.

Método	Volume máximo reservatório (m³)		
	Simulação 1	Simulação 2	Simulação 3
Prático Brasileiro	290	370	455
Prático Alemão	66	84	104
Prático Inglês	65	83	102
Rippl	7785	5522	2946
Dias consecutivos sem chuva	1457	1457	1457

A Figura 12 apresenta uma síntese dos resultados dos volumes dos reservatórios para cada simulação realizada e método aplicado. É possível observar que quanto mais prático a metodologia empregada em cada método de dimensionamento, menor é a variação do volume para o reservatório.

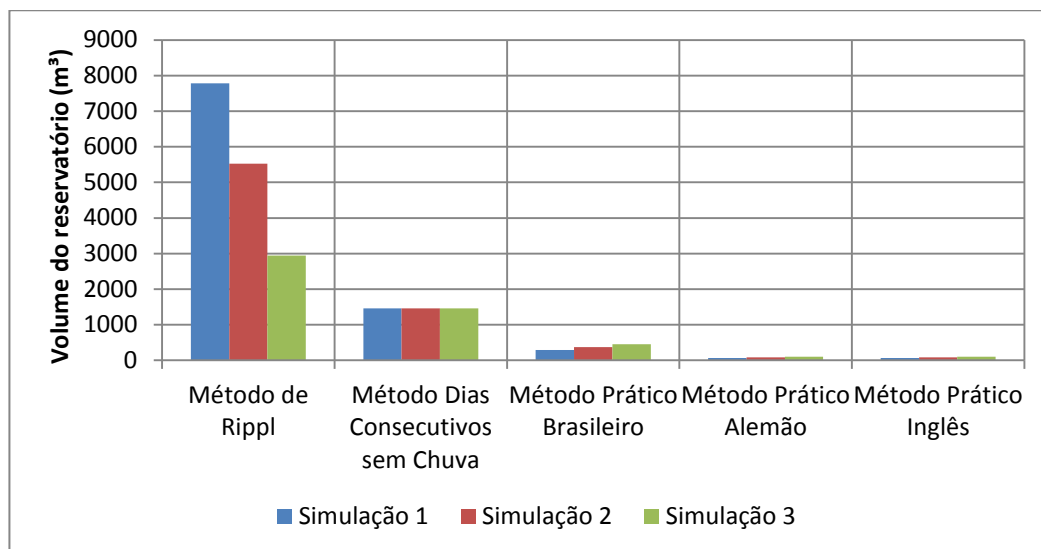


Figura 12. Volume do reservatório para cada simulação aplicada.

Os volumes de reservação apresentaram grande variabilidade entre si. Moruzzi e Oliveira (2010), comentam em seu estudo sobre dimensionamento de reservatórios, que os métodos práticos geralmente são pouco sensíveis à variação da demanda de água e da área de captação. Tal afirmação também pode ser observada através dos resultados apresentados na Tabela 7, para os métodos práticos Brasileiro, Alemão e Inglês.

É importante salientar que os métodos práticos Brasileiro (ou Azevedo Neto), Inglês e Alemão consideram, na sua base de cálculo, a precipitação média anual, o que pode subdimensionar ou superdimensionar o reservatório, não considerando eventos de El Niño ou La Niña que podem ocorrer na região.

O dimensionamento do reservatório realizado através da aplicação dos métodos práticos Alemão e Inglês resultaram semelhantes, pois carecem, na sua formulação, dos mesmos parâmetros, ou seja, precipitação média anual e área de captação. A única diferença entre os métodos é que o Alemão implica no uso do menor valor entre o volume aproveitável e a demanda necessária, e como esta última sempre foi superior, utilizou-se os dados de volume aproveitável, gerando proximidade entre os resultados do dimensionamento.

A demanda de água necessária para a realização das atividades da empresa é um parâmetro importante a ser verificado no dimensionamento do reservatório, uma vez que se deseja que este atenda às necessidades da empresa na maior parte do tempo. Sob tal aspecto, observa-se que os métodos práticos não fazem uso de tal parâmetro o que também pode comprometer no sub ou superdimensionamento do reservatório.

Para o método de Rippl, sob as mesmas condições de precipitação e demanda de água, a área de captação tem uma relação inversamente proporcional ao volume final do reservatório aplicado em cada simulação, ou seja, quanto maior a área de captação, menor o volume do reservatório de armazenamento. Esta observação também pode ser verificada no estudo realizado por Amorim e Pereira (2008).

Para o dimensionamento do reservatório através da aplicação do método de Dias Consecutivos sem Chuva (DSC), este considera o maior período de estiagem ocorrido no ano, a probabilidade de sua ocorrência, o tempo de retorno de 10 anos e por fim a demanda de água, resultando no volume de reservação de água necessário. Esse método não considera a cobertura de captação, por isso todos os resultados para a capacidade do reservatório se mantiveram constantes para as 3 simulações.

É possível observar que os métodos prático Brasileiro e o de Dias Consecutivos sem Chuva utilizam dados de períodos de estiagem do município, entretanto empregam critérios diferentes para verificar a intensidade de insuficiência de precipitação. Para Dornelles et al. (2010), em seu estudo realizado através da avaliação dos métodos de dimensionamento, para ambos os métodos mencionados e sob a mesma precipitação média anual e período de retorno, encontrou volumes de reservação superior para o método Brasileiro e volume inferior para o DSC, não concordando com os resultados encontrados para o presente trabalho, devido ao tamanho da área de captação utilizada.

Amorim e Pereira (2008) comentam que os métodos práticos, por possuírem menor complexidade, são recomendados para o dimensionamento de reservatórios destinados à estabelecimentos menores, como residências, já os métodos mais complexos, como Rippl, Análise e Simulação e Dias consecutivos sem chuva, são recomendados para projetos maiores, que requerem maior volume de água em suas aplicações.

Conforme sugerido por Carvalho et al. (2007), o Método de Análise e Simulação pode ser utilizado em combinação com outros métodos de dimensionamento, através da análise do comportamento dos volumes de reservação resultantes dos métodos aplicados, permitindo maior precisão na adoção do volume para o reservatório em função da eficiência desejada para o mesmo.

Neste contexto, os volumes calculados para os reservatórios resultantes da aplicação dos métodos de Rippl, Brasileiro, Alemão, Inglês e Dias consecutivos sem chuva, foram fixados e aplicados como volumes para o método prático Australiano (MPA) e método de Análise e Simulação (MAS), a fim de verificar o balanço hídrico dentro do reservatório e sua eficiência.

Para a simulação 1, os resultados aplicados no Método de Análise e Simulação e no Método Prático Australiano podem ser observados na Tabela 8 e sintetizados na Figura 13.

Tabela 7. Dimensionamento reservatório para a simulação 1 com dados de precipitação mensais

Método proveniente		VOLUME reservatório	Média mensal de Suprimento	Média mensal de Extravasamento	Eficiência
		m ³	m ³ . mês-1	m ³ . mês-1	%
Método Prático Australiano	Rippl	7785	654	0	9%
	DSC	1457	655	0	9%
	MAS/MPA	1000	658	3	9%
	MAS/MPA	500	665	10	8%
	Brasileiro	290	670	15	7%
	MAS/MPA	250	671	16	7%
	Alemão	66	678	24	7%
	Inglês	65	678	24	7%
Método Análise e Simulação	Rippl	7785	649	0	10%
	DSC	1457	650	0	10%
	MAS/MPA	1000	652	3	9%
	MAS/MPA	500	659	10	8%
	Brasileiro	290	664	15	8%
	MAS/MPA	250	665	17	7%
	Alemão	66	673	24	7%
	Inglês	65	673	24	7%

Diante dos resultados apresentados na Tabela 8, nota-se que a diferença entre os métodos MPA e MAS é pequena, de aproximadamente 1%. Esta diferença refere-se a metodologia de cálculo utilizada por ambos os métodos, sendo que para o MPA

considera uma perda oriunda da evaporação e interceptação da água antes de atingir o reservatório, enquanto o MAS não pondera.

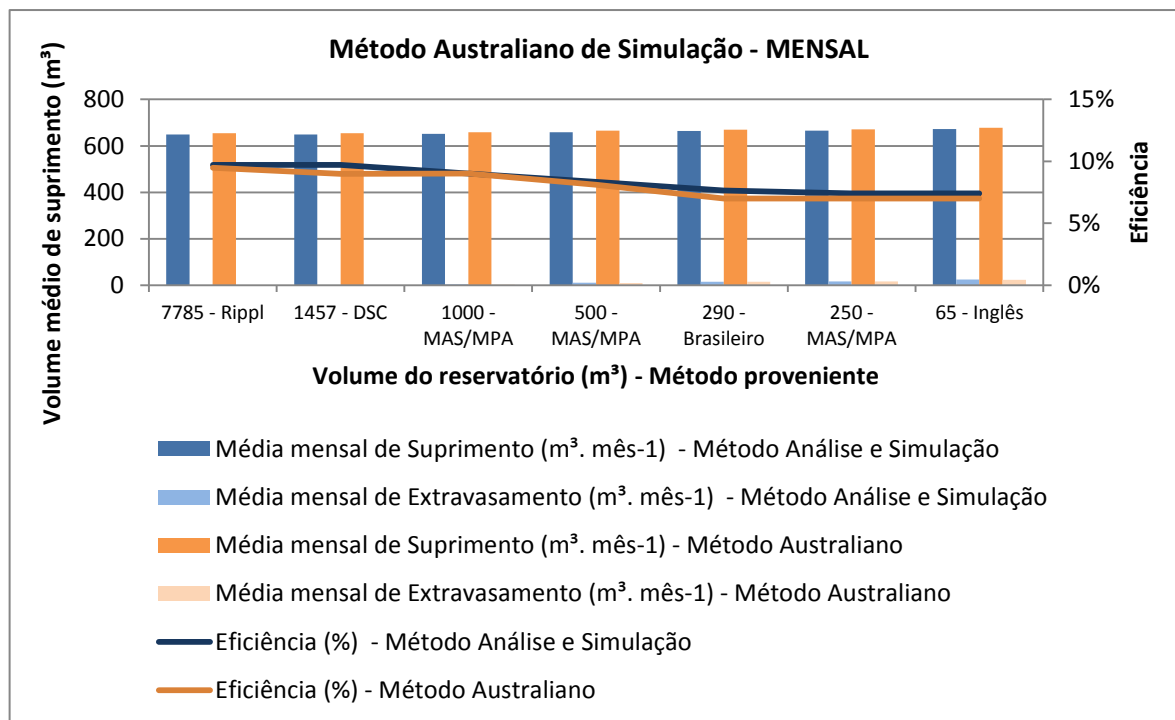


Figura 13. Dimensionamento reservatório para a simulação 1 com dados mensais de precipitação

Verificando o balanço hídrico em cada volume dimensionado é possível observar que mesmo aplicando um reservatório com capacidade de 7.785 m³, ainda assim seria necessário um complemento de aproximadamente 649 m³ de água por mês. Por outro lado, aplicando um reservatório com capacidade de 1000 m³, cerca de 8 vezes menor que o primeiro, a necessidade de suprimento do abastecimento externo seria de aproximadamente 652 m³, ou seja, somente 3m³ a mais por mês. E por fim, aplicando um reservatório de 65 m³, 120 vezes menor que o primeiro e 16 vezes menor que o segundo reservatório, a necessidade de suprimento externo seria de aproximadamente 673 m³, 24 m³ a mais que o primeiro reservatório analisado e 21 m³ comparado ao segundo.

Observa-se também que mesmo aplicando o menor reservatório dimensionado (65 m³) para esta simulação de área, o volume de água que é extravasado do sistema é de aproximadamente 24 m³ por mês. Isso ocorre porque o reservatório não tem capacidade volumétrica para armazenar toda a precipitação escoada no telhado.

A eficiência para esta primeira simulação, a qual apresenta uma área de captação de 6.728 m² é baixa, justificada pela alta demanda de água exigida para a realização das atividades da Empresa e também pelo fator de precipitação natural que ocorre no município, o qual não pode ser alterado.

Desta forma, o balanço hídrico no interior do reservatório, para a primeira simulação realizada, só seria mais eficiente, caso a precipitação do município fosse maior, a demanda por água fosse menor ou então, aumentando a área de captação.

Para esta simulação 2, a qual contempla 8.580,5 m² de área de captação, cerca de 22% maior que a primeira simulação, apresenta resultados dos volumes para os reservatórios na Tabela 9 e sintetizados na Figura 14, aplicados para o Método de Análise e Simulação e no Método Prático Australiano, utilizando dados mensais de precipitação.

Tabela 8. Dimensionamento reservatório para a simulação 2 com dados de precipitação mensais

Método proveniente		Volume reservatório	Média mensal de Suprimento	Média mensal de Extravasamento	Eficiência
		m ³	m ³ . mês-1	m ³ . mês-1	%
Método Prático Australiano	Rippl	5522	468	0	25%
	DSC	1457	477	9	23%
	MAS/MPA	1000	486	18	22%
	MAS/MPA	500	502	34	19%
	Brasileiro	370	508	41	18%
	MAS/MPA	250	517	49	18%
	Alemão	84	534	66	17%
	Inglês	83	534	66	17%
Método Análise e Simulação	Rippl	5522	463	0	25%
	DSC	1457	472	9	23%
	MAS/MPA	1000	480	18	22%
	MAS/MPA	500	495	34	19%
	Brasileiro	370	502	42	19%
	MAS/MPA	250	510	50	18%
	Alemão	84	527	67	17%
	Inglês	83	528	68	17%

Comparando os resultados de ambos os métodos aplicados, nota-se que a diferença entre os resultados de suprimento de água de fonte externa é de aproximadamente 1% para o maior reservatório e 3% para o menor, desta forma, a

comparação entre os volumes dos reservatórios será efetuada pelo menor resultado, ou seja, pelo MAS.

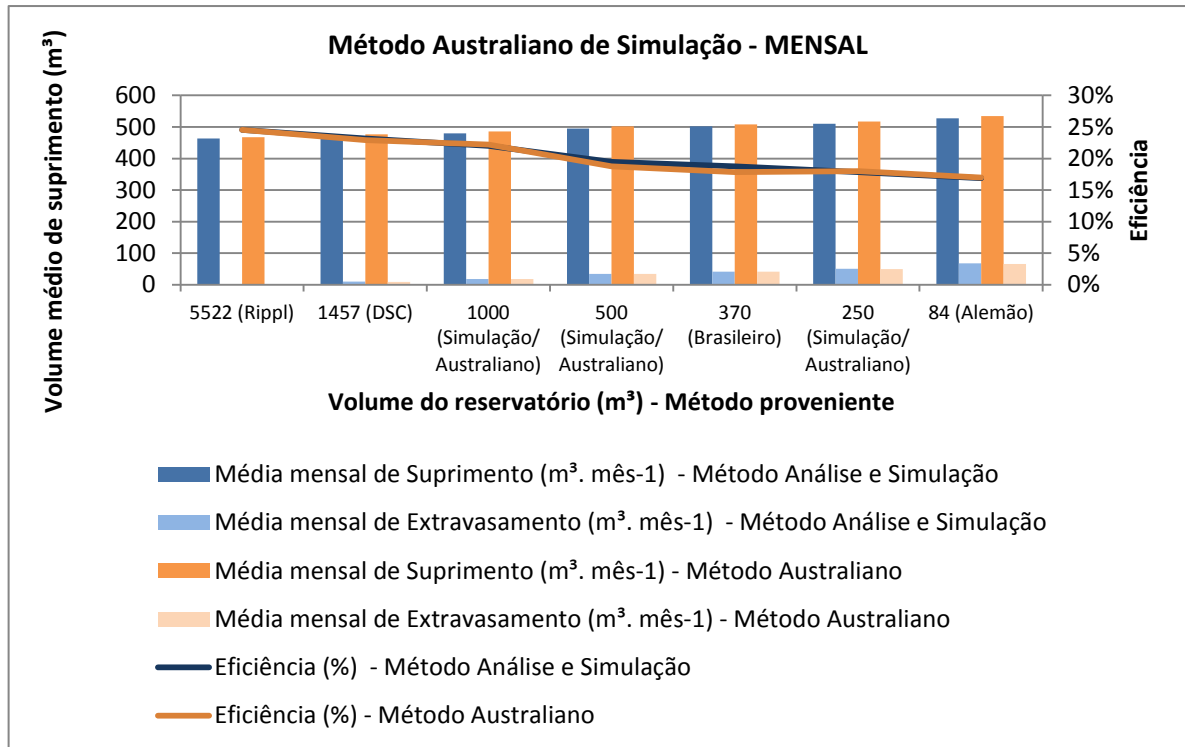


Figura 14. Dimensionamento reservatório para a simulação 2 com dados mensais de precipitação

Verificando os volumes resultantes para os reservatórios, e escolhendo para serem analisados os volumes de 1.457 m^3 , 500 m^3 e 250 m^3 de forma aleatória, observa-se que aplicando um reservatório de 500 m^3 ao invés de um de 1.457 m^3 , além do tamanho ser de aproximadamente 3 vezes menor, a quantidade de água necessária pra o suprimento externo que é de cerca $495 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$, cerca de 5% a mais de água. Por outro lado, aplicando um reservatório de 250 m^3 ao invés de 500 m^3 , além do tamanho ser reduzido pela metade, a necessidade de suprimento aumenta somente 8%, em comparação ao primeiro e 3% em comparação ao segundo reservatório.

Entre todos os volumes para o reservatório de armazenamento pelo MAS, a diferença da eficiência é de 8% em comparação do maior ao menor reservatório, sendo que a necessidade de suprimento externo é de somente 14%, ou seja, 65 m^3 por mês.

Para a simulação 3, a qual contempla uma área de captação de 10.544 m², os resultados aplicados no Método de Análise e Simulação e no Método Prático Australiano podem ser observados na Tabela 10 e sintetizados na Figura 15.

Tabela 9. Dimensionamento reservatório para a simulação 3 com dados de precipitação mensais

Método proveniente		VOLUME reservatório	Média mensal de Suprimento	Média mensal de Extravasamento	Eficiência
		m ³	m ³ . mês-1	m ³ . mês-1	%
Método Prático Australiano	Rippl	2946	287	13,5	49%
	DSC	1457	314	41	44%
	MAS/MPA	1000	329	58	43%
	MAS/MPA	500	361	91	34%
	Brasileiro	455	366	96	33%
	MAS/MPA	250	389	119	30%
	Alemão	104	411	142	28%
	Inglês	102	412	142	28%
Método Análise e Simulação	Rippl	2946	283	14	49%
	DSC	1457	307	43	45%
	MAS/MPA	1000	322	59	43%
	MAS/MPA	500	354	93	35%
	Brasileiro	455	359	98	34%
	MAS/MPA	250	382	122	31%
	Alemão	104	405	144	28%
	Inglês	102	405	144	28%

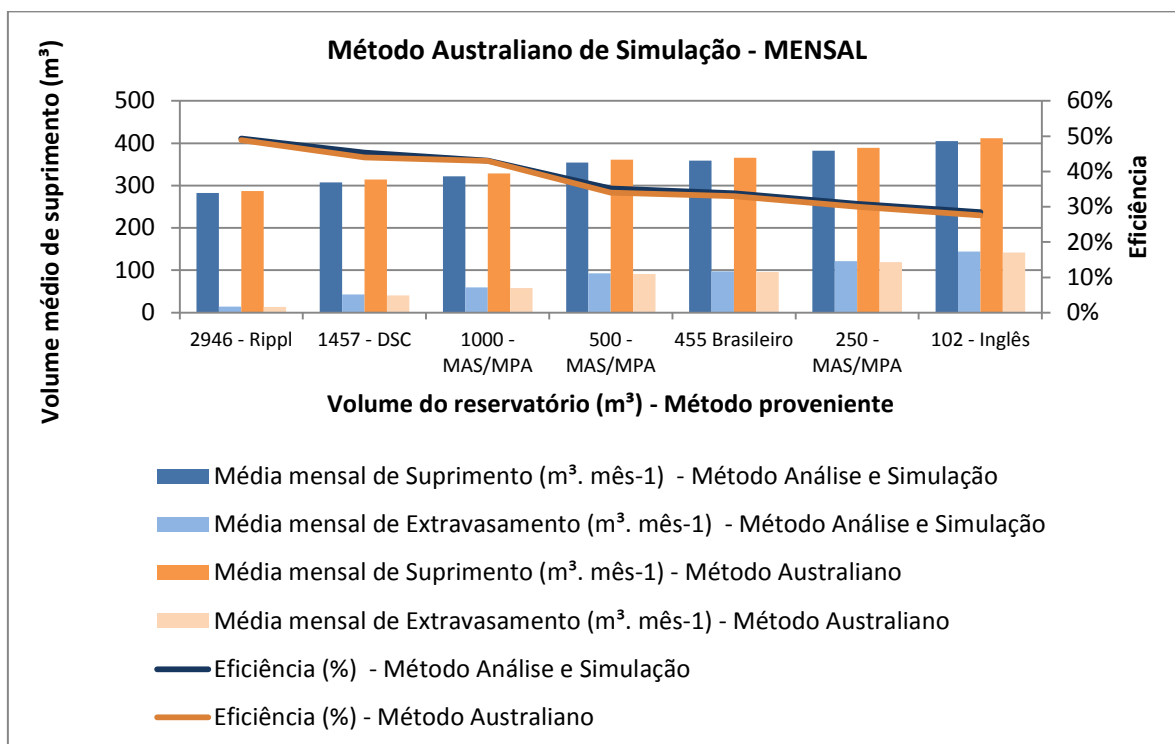


Figura 15. Dimensionamento reservatório para a simulação 3 com dados mensais de precipitação

Observando os dados da terceira simulação e adotando volumes aleatórios dos reservatórios para a comparação da melhor alternativa, optou-se pelos volumes de 2.946 m³, 1.000 m³ e 102 m². Aplicando o maior reservatório dimensionado, a eficiência de atendimento da demanda de água é de aproximadamente 50%, sendo que ainda, necessitaria em média, 283 m³ por mês de água de fonte externa, para realizar as atividades de forma integral.

Caso optasse pela instalação de um reservatório 3 vezes menor, de 1000 m³, a necessidade de suprimento externo de água aumentaria 14% resultando em 322 m³.mês⁻¹. Ainda assim, instalando um reservatório 29 vezes menor, o suprimento de água aumentaria 43% (122 m³) em comparação ao primeiro reservatório e 26% (83 m³) em relação ao segundo.

Comparando as 3 simulações realizadas é possível determinar que quanto maior a área de captação, maior será o volume de perdas considerado pelo MPA e consequentemente maior será a diferença na necessidade de suprimento externo de água para a realização das atividades da Empresa, em comparação ao MAS.

Werneck (2006) comenta que independentemente do método utilizado, o cálculo do volume do reservatório é mais preciso quando utiliza-se dados de consumo e precipitações diárias com o objetivo de minimizar os riscos de falta de

água de chuva no sistema. Neste sentido, sob os mesmos parâmetros aplicados nas simulações apresentadas anteriormente (área, demanda e volume fixo do reservatório), realizou-se o balanço hídrico dos reservatórios através da utilização de dados diários de precipitação e demanda.

Para a simulação 1, a Tabela 11 e a Figura 16, expressam os resultados do dimensionamento do reservatório de armazenamento da água de chuva.

Tabela 10. Dimensionamento reservatório para a simulação 1 com dados diários de precipitação

Método proveniente		Volume reservatório	Média mensal de Suprimento	Média mensal de Extravasamento	Eficiência
		m ³	m ³ . dia-1	m ³ . dia-1	%
Método Análise e Simulação	Rippl	7785	22	0	43%
	DSC	1456	23	0	43%
	MAS/MPA	1000	23	0	43%
	Brasileiro	290	25	3	36%
	MAS/MPA	100	29	7	26%
	Inglês	66	31	8	22%
	Alemão	65	31	8	22%
Método Prático Australiano	Rippl	7785	28	0	37%
	DSC	1456	28	0	37%
	MAS/MPA	1000	28	0	37%
	Brasileiro	290	31	2	32%
	MAS/MPA	100	35	6	22%
	Inglês	66	36	8	20%
	Alemão	65	36	8	20%

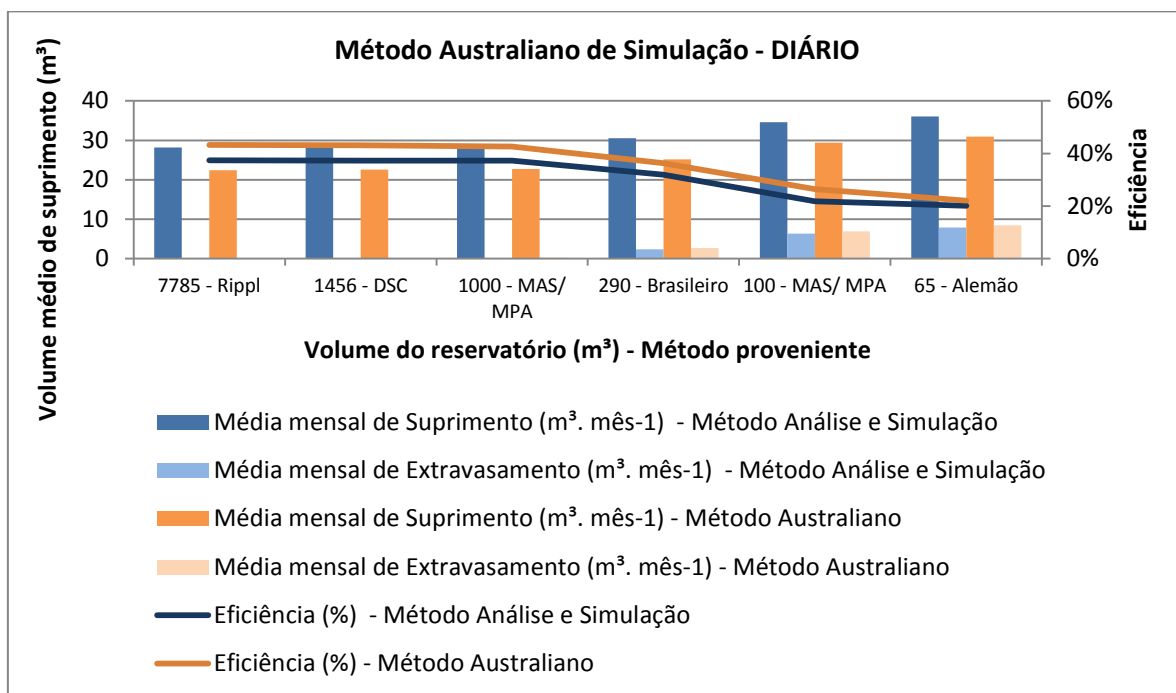


Figura 16. Dimensionamento reservatório para a simulação 1 com dados diários de precipitação

Os dados diários de precipitação oferecem maior confiabilidade para o dimensionamento e escolha do volume do reservatório. Para a simulação 1, a fim de garantir o melhor atendimento da demanda de água, a adoção do volume de 1.000 m³ corresponde a mesma eficiência comparado ao reservatório 8 vezes maior. Entretanto, adotando o reservatório de 290 m³ também atenderia boa parte da demanda de água necessária, com o auxílio de aproximadamente 31 m³ de água de fonte externa.

O dimensionamento do reservatório para a simulação da área 2 está apresentado na Tabela e representado através da Figura 17.

Tabela 11. Dimensionamento reservatório para a simulação 2 com dados diários de precipitação

Método proveniente		VOLUME reservatório	Média mensal de Suprimento	Média mensal de Extravasamento	Eficiência
		m ³	m ³ . dia-1	m ³ . dia-1	%
Método Análise e Simulação	Rippl	5522	16	0	59%
	DSC	1457	17	1	57%
	Brasileiro	370	21	5	47%
	MAS/MPA	100	28	11	31%
	Alemão	84	28	12	27%
	Inglês	83	29	12	27%
	MAS/MPA	50	31	14	25%
Método Prático Australiano	Rippl	5522	24	0	49%
	DSC	1457	24	0	48%
	Brasileiro	370	28	4	40%
	MAS/MPA	100	34	10	25%
	Alemão	84	35	11	24%
	Inglês	83	35	11	24%
	MAS/MPA	50	37	13	17%

Para este caso, adotando o reservatório de 1.457 m³, aproximadamente 4 vezes menor que o maior reservatório apresentado, a eficiência se manteria em aproximadamente 57%, sendo necessário em média 24 m³ por dia de água do abastecimento externo. Contudo, adotando o reservatório de 370 m³ também atenderia boa parte da demanda de água e o tamanho do reservatório seria de 4 vezes menor.

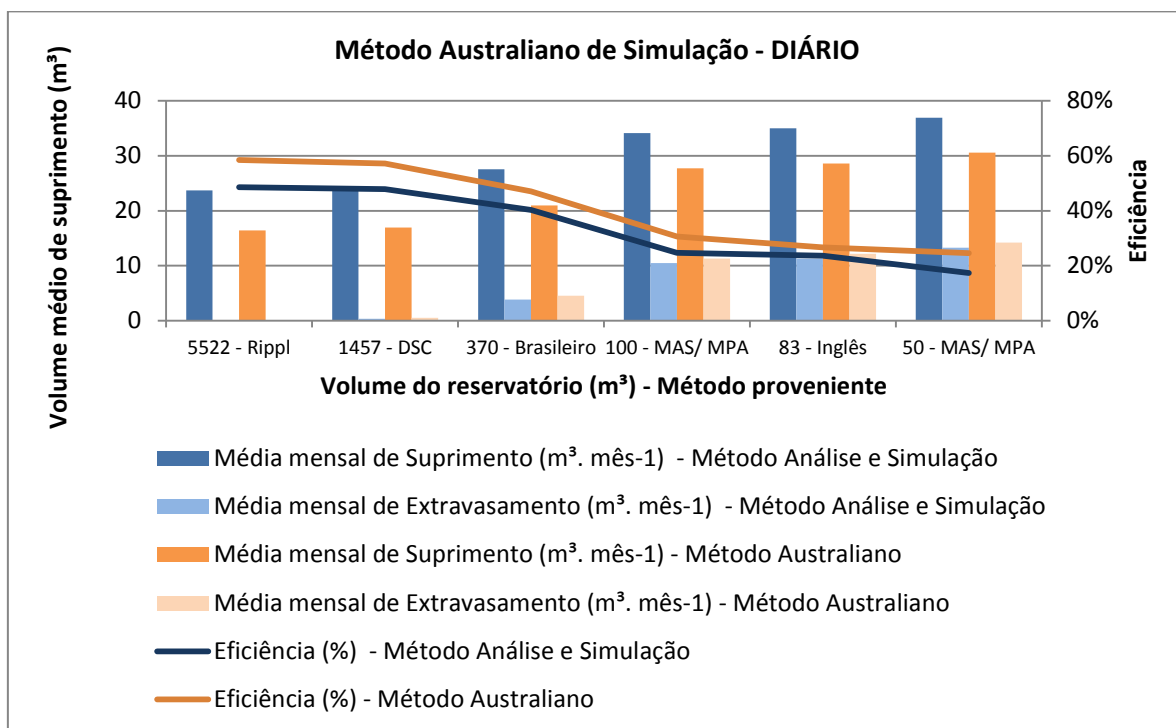


Figura 17. Dimensionamento reservatório para a simulação 2 com dados diários de precipitação

O dimensionamento para a simulação 3 com dados diários de precipitação, pode ser observado através da Tabela 13 e da Figura 18, aplicados para os métodos de MAS e MPA.

Tabela 12. Dimensionamento reservatório para a simulação 3 com dados diários de precipitação

Método proveniente		Volume reservatório	Média mensal de Suprimento	Média mensal de Extravasamento	Eficiência
		m³	m³. dia-1	m³. dia-1	%
Método Análise e Simulação	Rippl	2946	11	0	73%
	DSC	1457	12	2	70%
	MAS/MPA	1000	13	3	67%
	Brasileiro	455	17	7	57%
	Alemão	104	26	16	34%
	Inglês	102	26	16	34%
	MAS/MPA	50	30	20	27%
Método Prático Australiano	Rippl	2946	19	0	60%
	DSC	1457	20	1	58%
	MAS/MPA	1000	21	2	56%
	Brasileiro	455	25	6	48%
	Alemão	104	34	15	27%
	Inglês	102	34	15	27%
	MAS/MPA	50	37	18	19%

Para a simulação 3, o reservatório com capacidade de 1.000 m³ representa 67% de eficiência, com necessidade de aproximadamente 21 m³ por dia de água de fonte externa. Por outro lado, adotando um reservatório 2 vezes menor, a eficiência diminuiria 10%, passando para a necessidade de 25 m³ de água por dia.

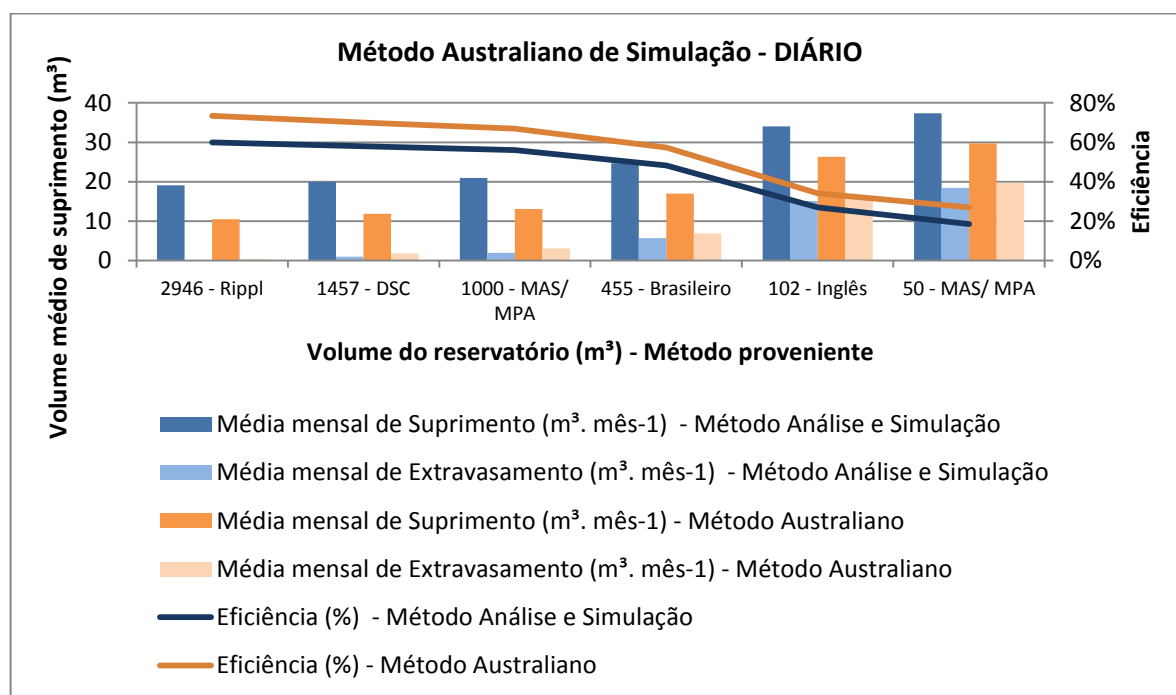


Figura 18. Dimensionamento reservatório para a simulação 3 com dados diários de precipitação

A eficiência do sistema é um parâmetro importante a ser verificado quando do dimensionamento do sistema de captação, entretanto, este deve ser analisando juntamente com outros fatores como, por exemplo, características espaciais, investimento e risco, a fim de manter um atendimento suficiente conforme as necessidade e possibilidades do empreendimento.

Quando comparada a eficiência resultante da aplicação dos dados diários e mensais de precipitação, para ambos métodos (MAS e MPA), esta apresenta uma diferença expressiva. Para obtenção de dados mensais, efetua-se a soma da precipitação ocorrida durante todos os dias do mês e posteriormente realiza-se a análise de necessidade de suprimento ou extravasamento de água do reservatório.

A eficiência, quando se utiliza dados mensais, é considera somente o atendimento total ou não da demanda mensal de água. Já pela análise dos dados diários, é possível observar os dias que o sistema se apresentou deficitário, ou seja, os excessos de extravasamentos ou o não enchimento do reservatório.

Sob tais aspectos, os resultados dos dimensionamentos diários podem ser conferidos através das Figuras 9, 10 e 11, apresentados pela distribuição diária do volume de chuva aproveitável, sendo compatível com os volumes mínimos dos reservatórios de 1.000 m³, 1.457m³ e 1.000 m³ para as simulações 1, 2 e 3 respectivamente, objetivando a captação do maior volume de chuva e armazenando-o para futuros períodos de estiagem.

4.2 Bombeamento da água armazenada

O dimensionamento da bomba de recalque tem por objetivo mensurar o consumo médio de energia elétrica, o qual será gasto com o novo sistema de captação. Para tanto, alguns fatores para o dimensionamento foram considerados, principalmente as medidas reais do empreendimento para a instalação do mesmo.

Considerando que o reservatório de armazenamento de água ficará apoiado sob o solo e a moto-bomba escolhida é classificada “submersíveis multi-estágios 5”, modelo VN-5312, projetada para operar dentro da água, com submersão máxima de 20 metros e sendo indicada para transporte de água para longas distâncias e também para coleta de água de chuva.

Sob tais características, a bomba ficará disposta de forma submersa no reservatório e recalcará a água para uma altura, em linha reta, de 5,5 m, e posteriormente através da inserção de peças especiais, circundará a Empresa, num comprimento de 151 m, quando desce uma altura de 6 metros até atingir o reservatório de utilização, o qual está disposto de forma enterrada (Apêndice D).

Atualmente, a Empresa dispõe de dois reservatórios enterrados que estão dispostos ao lado das máquinas de lavagem dos veículos, um com capacidade de 17m³ e outro de 30m³. Para estes reservatórios já existe o bombeamento para a máquina de lavagem. Diante disso, não serão verificadas a economia do sistema em relação a energia elétrica, somente será realizado o dimensionamento da bomba para o primeiro do reservatório de armazenamento da água pluvial, o qual esta sendo dimensionado no presente trabalho.

A vazão de recalque é de 3 m³.h⁻¹, sendo que algumas peças especiais foram consideradas para o recalque da água: 3 curvas de 90°, 1 válvula de gaveta, 1

válvula de retenção e 1 ampliação concêntrica. Calculando a perda de carga tanto das pelas como do recalque, totalizou uma altura manométrica de 5,62 m.

Conforme recomendado por SRHT (2007), é importante que a altura manométrica seja um pouco maior do que a medida em campo. Adotando-se uma folga de 0,5 m, totalizando uma altura manométrica de 6,12 metros.

O fabricante verificado foi Scheneider motobombas (2016), sendo que as características da bomba necessária possui diâmetro do rotor de 97 mm, altura manométrica máxima de 34 m.c.a (metros de coluna d'água) e potência de 1,2 cv.

Diante da potência da bomba, necessita-se que a mesma funcione 24 horas por dia, 30 dias por mês e, considerando o consumo de $R\$1,05 \text{ R}\$.\text{kwh}^{-1}$, resulta em um custo médio de energia elétrica de aproximadamente R\$665,28 por mês.

4.3 Viabilidade econômica do sistema

A análise dos resultados referente à viabilidade econômica para a implantação do sistema de captação de água da chuva pode ser observado nos apêndices G, H e I para as simulações 1, 2 e 3 respectivamente.

Os resultados estão apresentados pelos itens de consumo, custo e economia.

O consumo é expresso pelo volume de água necessário para atender a demanda de água para a realização das atividades da empresa, tanto antes da instalação do sistema de captação, como também após a instalação do mesmo, através da aplicação dos dados de volume de suprimento externo de água, para cada volume de reservatório aplicado.

O custo é mensurado através do consumo de água para atender a demanda de água da Empresa, para as duas situações: antes e após a instalação do sistema de captação. A tarifa de água e esgoto aplicada pelo SANEP no município de Pelotas foi considerada, sendo que, de acordo com a Prefeitura Municipal, ocorre a coleta e tratamento de esgoto para o local da instalação do empreendimento, compreendendo em 80%.

E, por fim, a economia é mensurada pela diferença das situações, de antes e após a instalação do sistema de captação de água pluvial na Empresa, conforme as características de consumo.

Os dados foram apresentados somente para as simulações mensais realizadas, uma vez que não foi possível calcular o consumo financeiro de água diário seguindo os critérios de cobrança do SANEP do município de Pelotas.

A Figura 19 representada para a simulação 1, sendo possível observar que a diferença de economia financeira na escolha de um dos métodos (MPA ou MAS) para o dimensionamento do reservatório de armazenamento de água da chuva é muito baixo, sendo este próximo a 1%, não representando diferença significativa em sua escolha.

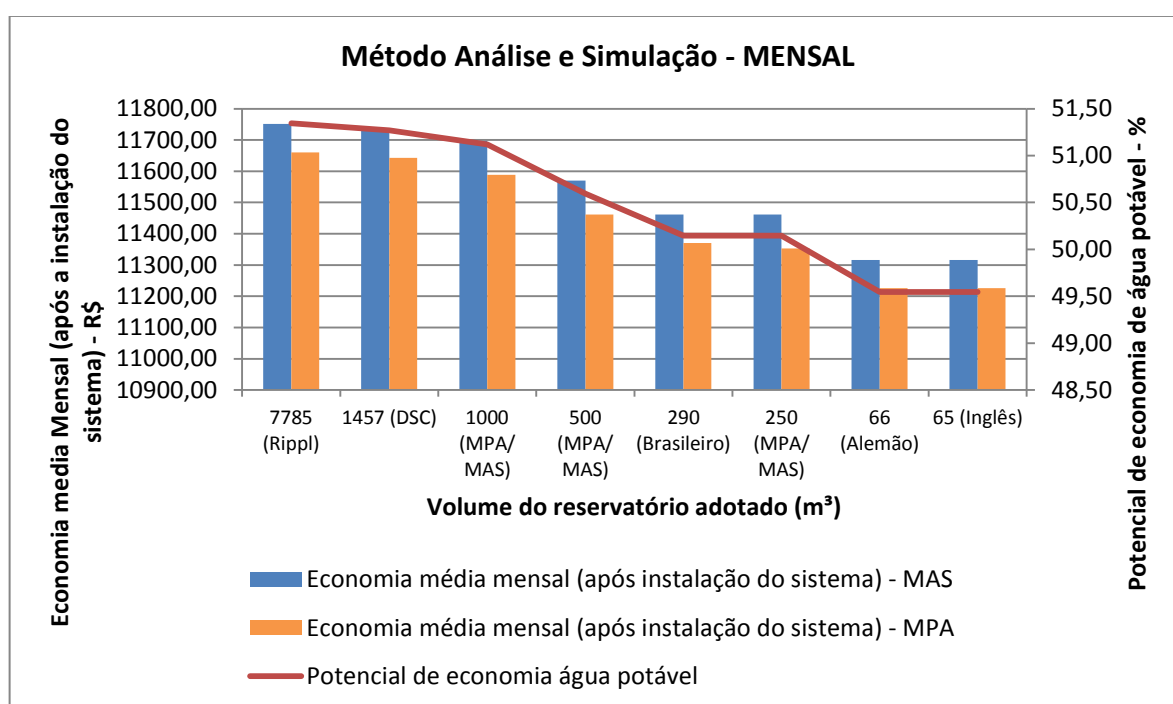


Figura 19. Economia média mensal de água para a simulação 1.

Também é possível verificar que o potencial de economia de água potável é de aproximadamente 49%, ou seja, cerca de 683.000 litros de água por mês para o maior reservatório e 660.000 litros de água, adotando o menor reservatório dimensionado.

Quanto a questão financeira, nota-se uma redução média mensal de até R\$11.316,20, adotando o menor reservatório de armazenamento de água e R\$11.751,30 para o maior reservatório, representando uma diferença na economia de aproximadamente 4% entre ambos reservatórios.

A Figura 20 apresenta os dados para a simulação 2. Verifica-se que com a possibilidade de ampliar a área de captação de água, o potencial de economia de

água potável atinge aproximadamente 65% adotando o maior reservatório e 60% adotando o menor, representando em média 870.000 litros de água mensais para a primeira opção e 805.000 litros de água para a segunda.

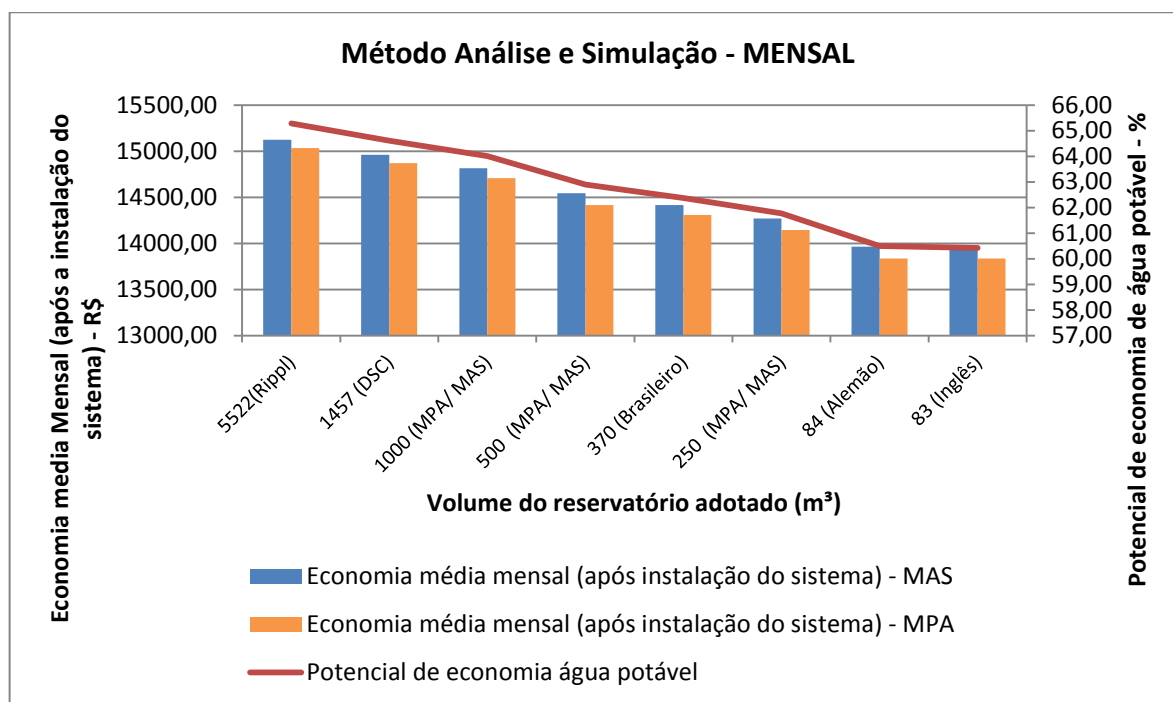


Figura 20. Economia média mensal de água para a simulação 2.

A diferença na redução média de gastos mensuráveis após a aplicação do sistema de captação de água pluvial representa cerca de 50% dos gastos para cada reservatório dimensionado.

Já para o consumo de água, a redução financeira é em média de 65% na adoção do maior reservatório e 60% na adoção do menor, sendo representada por R\$15.123,50 para o maior e R\$13.945,00 para o menor reservatório.

A Figura 21, expressa os dados para a terceira simulação de área de captação.

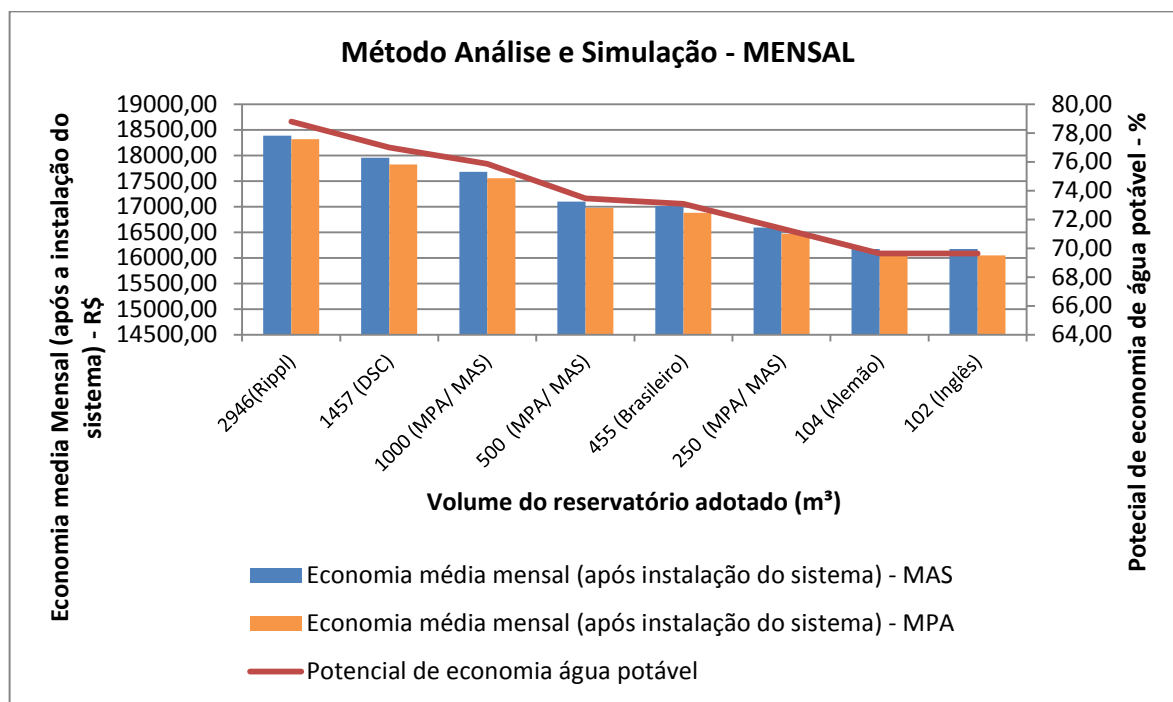


Figura 21. Economia média mensal de água para a simulação 3.

Para a simulação 3, é possível verificar que, em termos financeiros, a economia média somente de água, representa cerca de 80% a 70% após a instalação do sistema.

Adotando o maior reservatório dimensionado, a economia de água potável proveniente do abastecimento urbano representa em média 1.050.000 litros de água por mês e, para o menor reservatório, aproximadamente 928.000 litros de água, ou seja, aproximadamente 80% para o primeiro caso e 70% para o segundo.

A redução média de gastos entre o maior e o menor reservatório adotado é de aproximadamente 13%, sendo R\$18.386,90 para o maior e R\$16.175,00 para o menor.

Para as 3 simulações realizadas, a variabilidade da escolha do método (MAS ou MPA) não apresentou-se significativa.

Quanto maior a área de captação, maior será a economia de volume água do abastecimento externo necessário para completar a demanda e também menor será o gasto com a mesma. Entretanto, mesmo adotando a menor área de captação e o menor volume de reservatório para o armazenamento da água (65 m³), a economia é de aproximadamente R\$11.316,20 por mês, significando R\$377,00 por dia.

É importante salientar que os dados apresentados para todos os casos estudados são médias mensais, podendo ocorrer variação conforme a intensidade de precipitação que ocorrer no município. Entretanto, é possível observar que, para todos os casos, a captação de água pluvial foi satisfatória tanto em termos financeiros, através da redução de gastos referente ao consumo de água, como também em relação ao meio ambiente, através da conservação da água para usos mais nobres.

Além disso, neste trabalho não foram realizadas orçamentações de construção e implementação do sistema, a fim de garantir a viabilidade do investimento e o seu período de retorno para a Empresa.

Observando as Figuras 19, 20 e 21, nota-se que nenhuma das simulações atendeu a economia de água de 100%, uma vez que esta é dependente de fatores naturais, como a precipitação, mesmo esta sendo satisfatória para a Região. Para tanto, faz-se necessário a ligação com a rede de abastecimento externa do município, a fim de não comprometer o funcionamento das atividades do empreendimento.

O reservatório de captação de água não foi dimensionado para o descarte da primeira chuva, sendo esta considerada adequada para o sistema de lavagem dos veículos. Entretanto deseja-se que filtros sejam instalados nas tubulações a fim de evitar a entrada de folhas e detritos no interior do reservatório, além da adição de cloro com o intuito de inibir o desenvolvimento de bactérias e evitar a proliferação de doenças que possam ser transmitidas pela mesma.

5. CONCLUSÃO

De acordo com as simulações de diferentes áreas de captação e o volume de água pluvial possível de ser retido pelo sistema, conclui-se que o município de Pelotas possui potencial para captação de água pluvial, uma vez que a precipitação anual é regular e distribuída uniformemente e o Município não sofre com longos períodos de estiagem.

Um fator importante para a viabilidade do aproveitamento da água da chuva no empreendimento é o tamanho da área de captação possível de ser utilizada, entretanto, devido ao elevado volume de água necessário para a realização das atividades diárias, este fator torna-se insuficiente, pois necessita-se grandes volumes de reservatórios para armazenar a água, a fim de elevar a eficiência do sistema e a diminuir gastos com o abastecimento externo de água para realização das atividades da Empresa.

Por este motivo, nem sempre a eficiência será um parâmetro decisivo para a implementação do sistema, uma vez que, conforme verificado nas simulações realizadas, a maior eficiência requer volumes maiores de reservatórios, o que inviabiliza a implantação devido a necessidade de espaço.

Os métodos de dimensionamento de reservatórios para o armazenamento da água da chuva apresentados pela NBR 15.527 (2007), resultam em diferentes volumes de reservação devido sua diversificada metodologia de cálculo. Entretanto, quando estes volumes são aplicados no Método de Análise e Simulação e/ ou Método Prático Australiano, possibilitam analisar o balanço hídrico que acontecerá no interior do mesmo, e verificar qual a melhor alternativa para cada caso, levando em consideração fatores técnicos, econômicos e ambientais.

A interpretação dos dados resultantes do balanço hídrico é um fator importante a ser analisado em conjunto, verificando as necessidades que o sistema demandará, com o intuito de dimensionar o melhor volume de reservatório, considerando custos, necessidades de investimentos e as questões espaciais disponíveis para a instalação.

Os Métodos de Análise e Simulação e Prático Australiano mostraram-se bastante eficientes nos resultados apresentados, assim como de fácil manipulação, sendo que a utilização de dados de precipitação diários proporcionam maior

confiança na tomada de decisão devido a possibilidade de verificar de forma diária o balanço hídrico e eficiência do sistema, suas necessidades e deficiências.

Analisando as simulações realizadas, recomenda-se a utilização da maior área (10.544 m²) e a aplicação de um reservatório de 455 m³, com a possível necessidade média de 12.000 litros de água por dia proveniente do abastecimento externo, representando uma eficiência de 34% de todo o sistema.

Este reservatório representa uma economia de 73% de água, o qual contribui para a diminuição da utilização dos recursos hídricos superficiais e uma redução com os custos de abastecimento de água de R\$17.009,00 mensais, aproximadamente. Esta representatividade é uma diferença entre a situação anterior da instalação do sistema de captação de água pluvial e posterior ao seu pleno funcionamento.

Contudo, mesmo aplicando o menor reservatório dimensionado (102 m³) para a maior área de captação, o mesmo apresentou-se viável devido a diminuição no consumo de água e também na diminuição dos custos para o empreendimento, sendo este de aproximadamente R\$16.175,00 mensais.

É importante ressaltar que algumas práticas deveriam ser repensadas por parte da administração pública do Município, através da diminuição da tarifa do IPTU cobrada para residências, comércios e empreendimentos que adotassem medidas sustentáveis como, por exemplo, a instalação de sistemas de aproveitamento da água da chuva, com o intuito de motivar e engajar a comunidade na utilização racional dos recursos naturais.

A aplicação destas ações promoveria maior participação da população, a qual se beneficiaria com a diminuição dos custos de consumo de água, além de conservá-la e destiná-la para usos mais nobres.

Recomenda-se que seja realizada a avaliação e verificação da qualidade da água da chuva a fim de analisar a necessidade de descarte dos primeiros milímetros da mesma, uma vez que o atual projeto não prevê tal descarte.

Além disso, para projetos futuros, propõe-se a análise da água resultante da lavagem dos veículos, com o intuito de verificar a possibilidade e viabilidade de inserir um sistema de tratamento de efluentes, a fim de reutilizá-la novamente nos processos da Empresa, atuando como um ciclo fechado.

REFERÊNCIA

ABCMAC. Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva. Disponível em: <<http://www.abcmac.org.br>>. Acesso em: 3 fev. 2016.

AMORIM, Simar Vieira de; PEREIRA, Daniel José de Andrade. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios em aproveitamento de água pluvial. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 12., Anais... Fortaleza, 2008.

ANA – Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acessado em: 13 mar. 2016.

ANA, FIESP & SINCUSCON-SP. Conservação e reuso de água em edificações: São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005. 152 p.

ANNECCHINI, K. P. V. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES). 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

Anuário estatístico do Brasil – IBGE. Volume 74. 2014. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_2014.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2016.

Aquífero Guarani. Departamento Autônomo de Água e Esgoto (DAAE). Disponível em: <<http://www.daaearaquara.com.br/guarani.htm>>. Acesso em: 3 fev. 2016.

ASA – ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br/>> Acesso em: 15 fev. 2016.

BRANCO, C. C. de O.. Aproveitamento de água pluvial em lava-rápido de carros. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Faculdade Dinâmica de Cataratas – (UDC), Foz do Iguaçu, Paraná, 2010.

BRASIL. Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21. In: *Agenda 21 brasileira*. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-brasileira>>. Acesso em: 15 fev. 2016.

BRASIL. Decreto n.º 24.643, de 10 de julho de 1934 – Institui o Código das Águas. Rio de Janeiro, RJ, 10 de julho de 1934.

BRASIL. Lei Federal n.º 9433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 08 de janeiro de 1997.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Institui Política Nacional de Saneamento Básico. Brasília, DF, janeiro de 2007.

BRASIL. Projeto de Lei Nº 7818 DE 2014. Estabelece a Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua promoção. Brasília, DF, 2014.

BRITTO, F. P. et al. Variabilidade espacial e temporal da Precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: Influência do fenômeno el niño oscilação sul. *Revista Brasileira de Climatologia*. ISSN: 1980-055X, 2008.

CÂMARA MUNICIPAL DE PELOTAS. Lei Municipal nº 6.294, de 02 de dezembro de 2015. Dispõe sobre a alteração na sistemática de cobrança pelo fornecimento de água, coleta e tratamento de efluentes por parte do Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas – SANEP. Pelotas, RS, dezembro de 2015.

CÂMARA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. Lei Municipal n. 10.506, de 05 de agosto de 2008. Institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas.

CARVALHO, G. F.; OLIVEIRA, S. C & MORUZZI, R. B. Cálculo do volume do reservatório de sistemas de aproveitamento de água de chuva: comparação entre

métodos para aplicação em residências unifamiliar. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 10, 2007, São Carlos. Anais... São Carlos: UFSCar, 2007. 1 CD –ROOM.

CHRISTOFIDIS, D. Água, ética, segurança alimentar e sustentabilidade ambiental. BAHIA ANÁLISE & DADOS, Salvador, v. 13, n. especial, p. 371-382, 2003.

CIRRA – Centro Internacional de Referência em Reúso de Água; FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica; DTC Engenharia. Conservação e Reuso de Água: Manual de Orientações para o Setor Industrial. FIESP/CIESP, São Paulo, 2004.

CILENTO, F. C. Soluções para o aproveitamento de água pluvial em edificações existentes por meio do desenvolvimento de reservatórios de descarte e armazenamento. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2009.

COHIM, E. et al. Captação direta de água de chuva no meio urbano para usos não potáveis. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 24., 2007, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABES, 2007. p. 13.

COHIM, Eduardo; GARCIA, Ana; KIPERSTOK, Asher. Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Salvador, BA. 2008.

Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. ANA/ MMA. Brasília, 2013.

DEVKOTA, J., Schlachter, H., & Apul, D. Life cycle based evaluation of harvested rainwater use in toilets and for irrigation. *Journal of Cleaner Production*, 311-321. ISSN: 0959-6526. 2015.

DORNELLES, F. Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial. Tese de Doutorado – Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) – UFRGS. Porto Alegre, 2012.

DORNELLES, Fernando; TASSI, Rutinéia; GOLDENFUM, Joel A. Avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 15 n. 2 Abr/ Jun. 2010, 59-68.

EAP – Estação Agroclimatológica de Pelotas. Disponível em: <<http://agromet.cpact.embrapa.br/estacao/estacao.html>>. Acessado em 10 abr. 2016.

FREITAS, V. P. Águas - Aspectos jurídicos e ambientais. Curitiba: Juruá, 2000.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. Hidrologia. 2 ed., São Paulo: Edgard Blucher, 1988.

GHISI, E. A Influência da Precipitação Pluviométrica, Área de Captação, Número de Moradores e Demandas de Água Potável e Pluvial no Dimensionamento de Reservatórios para Fins de Aproveitamento de Água Pluvial em Residências Unifamiliares. Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para participação no Concurso Público do Edital N° 026/DDPP/2006. Florianópolis, 2006.

GNADLINGER, J. Colheita em Água da Chuva em Áreas Rurais. Associação Internacional de Sistemas de Captação de Água de Chuva. 2º Fórum Mundial da Água, Holanda, 2000. Disponível em: <<http://www.irpaa.org.br/colheita/indexb.htm>> Acesso em: 20 fev. 2016.

GROUP RAINDROPS. Aproveitamento da Água de Chuva. Editora Organic Trading, 1ª Edição, Curitiba, 2002.

GUEDES, R. L. Condições de grande escala associadas a sistemas convectivos de mesoescala sobre a Região Central da América do Sul. São Paulo, 1985.

Dissertação de Mestrado – Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo.

HAGEMANN, S. E. Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso. Dissertação - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental,. UFSM – RS. Santa Maria, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 3 fev. 2016.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home2/index>>. Acesso em: 29 fev. 2016.

KINKER, R. S. Proposta de implementação do aproveitamento de água de chuva em conjuntos habitacionais de interesse social: estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Habitação: Planejamento e Tecnologia) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo, 2009.

KOBIYAMA, M.; TSUYOSHI, U. ANJOS AFONSO, M. (organizadores da tradução). Aproveitamento de água de chuva – Ed. Organic Trading, 1º edição, 196p – Curitiba/ PR – Brasil, 2002.

LOBATO, M. B. Sistema de hierarquização de ações de conservação da água em edificações com aplicação do método Electre III. 283 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MAESTRI, R. S. Análise Custo - Benefício para o Aproveitamento da Água da Chuva em Florianópolis. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental: UFSC. Florianópolis, 2003.

MANO, R. S.; SCHMITT, C. M. Captação Residencial de Água Pluvial, para Fins Não Potáveis, em Porto Alegre: Aspectos Básicos da Viabilidade Técnica e dos Benefícios do Sistema. CLACS' 04 – I Conferencia Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo - SP, Anais....CD Rom, 2004.

MARINOSKI, A. K. Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC. 2007. 107 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MAY, S. Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MAY S.; PRADO R. T. A. Estudo da Qualidade da Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações. CLACS' 04 – I Conferência Latino - Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo – SP. Anais....CD Rom, 2004.

MIERZWA, J. C. et al. Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. REGA – Vol. 4, nº 1, p. 29-37, jan./ jun. 2007.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria Nº518 de 25 de março de 2004. Disponível em: <http://www.aeap.org.br/doc/portaria_518_de_25_de_marco_2004.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/IDEC, 2005. 160 p.

MORELLI, E. B. Reúso de Água na Lavagem de Veículos. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2005.

MORUZZI, Rodrigo Braga; OLIVEIRA, Samuel Conceição de. Aplicação de programa computacional no dimensionamento de volume de reservatório para o sistema de aproveitamento de água pluvial da cidade de Ponta Grossa, PR. *Revista de Engenharia e Tecnologia*. V. 2, N° 1, Abri/2010.

NBR 15527: Água de chuva -Aproveitamento de em coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis -Requisitos. 2007.

NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais , 1989.

NBR 5.626: Instalação predial de água fria, 1998.

NBR 12.214: Projeto de sistema de bombeamento de água, 1992.

NOLDE, E. Possibilities of rainwater utilisation in densely populated areas including precipitation runoffs from traffic surfaces . *Desalination* , 1-11. 2007.

OECD, Organisation for Economic Co-Operation and Development, Report: Pricing Water Resources and Water and Sanitation Services, Paris – France, 2010.

PHILIPPI, L.S. et al. Aproveitamento da água de chuva. In: GONÇALVES, R.F. (Org.). *Uso racional da água em edificações*. Rio de Janeiro: ABES - PROSAB, 2006. cap. 3, p. 73-152.

REBOUÇAS, Aldo Rebouças. *Uso Inteligente da Água*. São Paulo. Escrituras, 2004.

SANTOS, C., & Taveira-Pinto, F. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. *Resources, Conservation and Recycling*, 1-6. ISSN: 0921-3449. 2013.

SAUTCHÚK, C. A. Formulação de diretrizes para a implantação de programas de conservação de água em edificações. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SBRT. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. Disponível em: <http://sbrt.ibict.br>. Acessado em: 3 jun.16.

SCHNEIDER MOTOBOMBA. Disponível em: <http://www.schneider.ind.br/produtos/motobombas-submers%C3%ADveis/submers%C3%ADveis/vn/>. Acessado em: 9 jun. 2016.

SEEGER, L. M. K.; SARI, V.; PAIVA, E. M. C. D. Análise comparativa do aproveitamento da água da chuva na lavagem de veículos em duas cidades da Região Sul e Centro-Oeste. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. Anais... São Paulo: [s.n.], 2007. 1-13.

SEGALA, M. Água: a escassez na abundância. Planeta Sustentável. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/ambiente/populacao-falta-agua-recursos-hidricos-graves-problemas-economicos-politicos-723513.shtml>. Acesso em: 10 de abri. 2016.

SENRA, J.B; BRONZATTO, L.A; VENDRUSCOLO, S. Captação de Água de Chuva no Plano Nacional de Recursos Hídricos. Água da chuva: pesquisas, políticas e desenvolvimento sustentável. In: *Anais do VI Simpósio Brasileiro de Captação e Armazenamento de Água de Chuva*, Belo Horizonte, 2007.

SILVA, Eduardo Rosa da. Aproveitamento de água pluvial para consumo não potável em postos de combustíveis. Canoas. 75 p. Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Civil, ULBRA, 2007.

SOARES, D. A. F. et al.. Sizing a rainwater reservoir to assist toilet flushing. In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. Proceedings. CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro, v. 1, p.D11 – 1D1 – 12, 2000.

TOMAZ, P. Previsão de consumo de água. São Paulo: Navegar Editora, 2000.

TOMAZ, P. Aproveitamento de Água de Chuva – Para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis. Navegar Editora, São Paulo, 2003.

TORDO, O. C. Caracterização e avaliação do uso de água de chuva para fins potáveis. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Tecnológicas e Programa de pós - graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, 2004.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação: 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. 943 p.

TUCCI, C. E. M., Inundações Urbanas. Coleção ABRH V, 11, Porto Alegre/ RS – Brasil, 2007.

UNEP – United Nations Environment Programme. Global Environment Outlook 3: past, present and future perspectives. London: Earthscan, 2002.

VILLIERS, M. Água: Como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.

WATERFALL, P.H.. Harvesting Rainwater for Landscape Use. University of Arizona Cooperative (2002). Disponível em: < <http://ag.arizona.edu/pubs/water/az1052/> >. Acesso em: 10 fev. 2016.

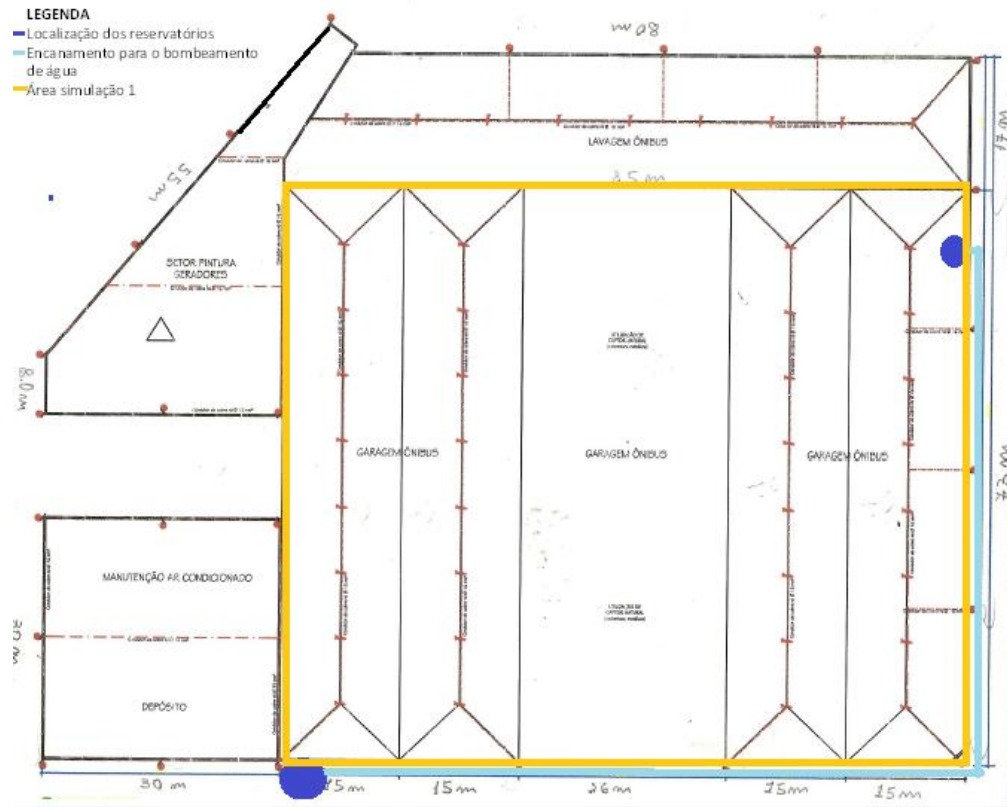
WERNECK, G. A. M.; Sistemas de utilização da água da chuva nas edificações: o estudo de caso da aplicação em escola de Barra do Piraí. Dissertação (mestrado) -

Programa de Pós-graduação em Arquitetura - UFRJ/ FAU/ PROARQ Rio de Janeiro: UFRJ/ FAU, 2006.

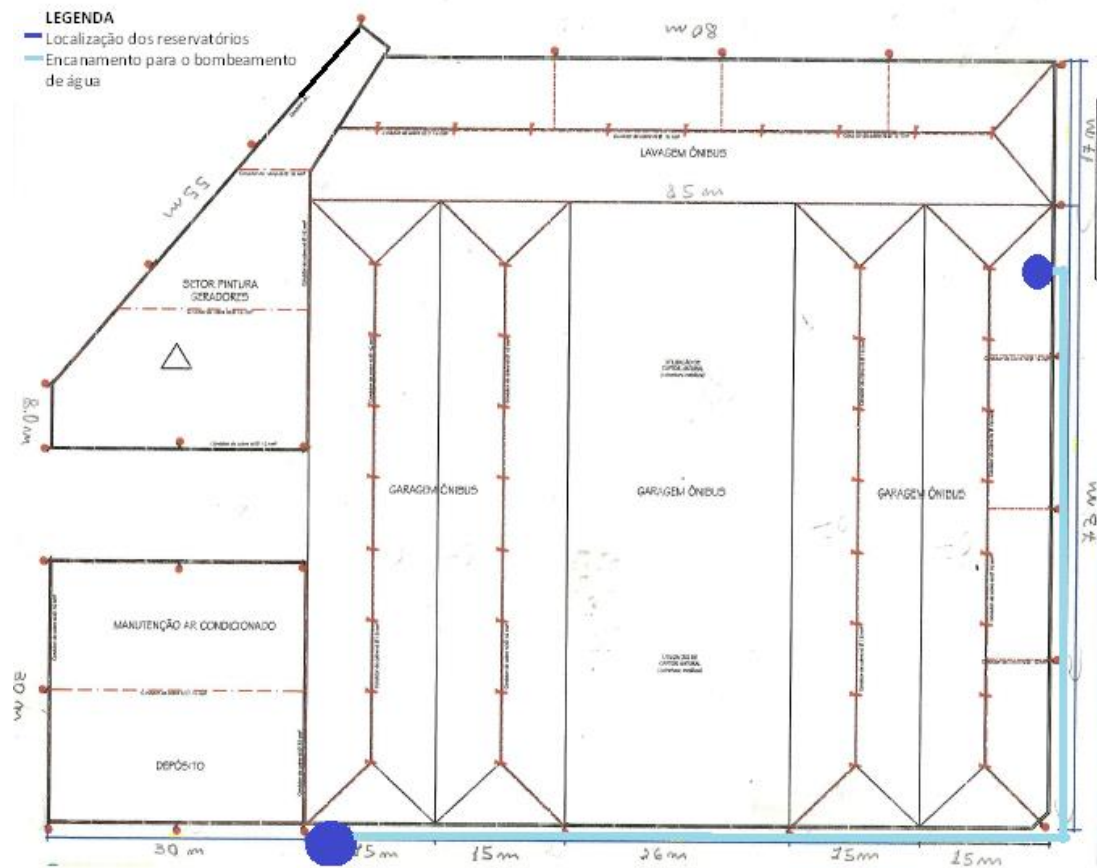
WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Health in water resources development (2006). Disponível em:< http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/vector/water_resources.htm>. Acesso em: 24 mar. 2016.

APÊNDICES

Apêndice A – Esboço da Planta da Empresa Expresso Embaixador – Área da simulação 1



**Apêndice D – Esboço da Planta da Empresa Expresso Embaixador –
Localização do reservatório de armazenamento e sistema de bombeamento**



Apêndice E - Dados de precipitação média mensal no município de Pelotas no período de 1980 a 2015.

Meses	Precipitação média mensal (mm)
Janeiro	114,59
Fevereiro	163,42
Março	110,09
Abril	115,64
Maiο	116,74
Junho	115,35
Julho	124,18
Agosto	113,28
Setembro	131,94
Outubro	108,99
Novembro	113,31
Dezembro	109,23

Apêndice F – Dados de precipitação média anual, dias consecutivos sem chuva e meses em que a precipitação foi superior a 100 mm no município de Pelotas no período de 1980 a 2015.

Ano	Precipitação média anual (mm)	Meses com precipitação < 100mm	Dias consecutivos sem precipitação
1980	129,6	5	25
1981	111,8	6	27
1982	111,8	4	24
1983	128,6	7	22
1984	141,2	4	22
1985	98,2	7	27
1986	138,0	3	16
1987	149,5	5	17
1988	74,2	9	16
1989	68,6	10	34
1990	125,2	5	28
1991	111,1	5	21
1992	119,5	6	15
1993	115,8	5	16
1994	105,4	7	18
1995	135,9	5	18
1996	82,6	7	32
1997	157,8	4	24
1998	154,9	2	19
1999	93,2	8	20
2000	124,3	4	26
2001	156,3	3	14
2002	192,9	0	15
2003	121,7	6	27
2004	114,1	9	27
2005	90,7	9	36
2006	90,3	7	25
2007	123,2	5	33
2008	97,3	7	30
2009	142,3	7	38
2010	110,4	6	27
2011	91,4	7	22
2012	93,5	7	26
2013	105,7	7	19
2014	150,7	3	18
2015	152,7	3	13

Apêndice G – Relação de consumo, custos e economia para a sistema de captação de água pluvial, aplicados na simulação 1.

Método	CONSUMO				CUSTO		ECONOMIA	
	Volume reservatório	Consumo médio mensal de água potável (antes da instalação do sistema)	Novo consumo médio mensal de água potável (após instalação do sistema)	Custo de água potável (antes da instalação do sistema)	Novo custo médio mensal de água potável (após instalação do sistema)	Custo operação do sistema (energia elétrica)	Potencial de economia água potável	Economia média mensal (após instalação do sistema)
Unidade	m ³	m ³ .mês ⁻¹	m ³ .mês ⁻¹	R\$.mês ⁻¹	R\$.mês ⁻¹	R\$.mês ⁻¹	%	R\$. mês ⁻¹
Australiano mensal	7785	1333,86	654,00	24215,31	11889,37	665,28	50,97	11660,66
	1457	1333,86	655,00	24215,31	11907,50	665,28	50,89	11642,53
	1000	1333,86	658,00	24215,31	11961,89	665,28	50,67	11588,14
	500	1333,86	665,00	24215,31	12088,80	665,28	50,14	11461,23
	290	1333,86	670,00	24215,31	12179,45	665,28	49,77	11370,58
	250	1333,86	671,00	24215,31	12197,58	665,28	49,70	11352,45
	66	1333,86	678,00	24215,31	12324,49	665,28	49,17	11225,54
	65	1333,86	678,00	24215,31	12324,49	665,28	49,17	11225,54
Simulação mensal	7785	1333,86	649,00	24215,31	11798,72	665,28	51,34	11751,31
	1457	1333,86	650,00	24215,31	11816,85	665,28	51,27	11733,18
	1000	1333,86	652,00	24215,31	11853,11	665,28	51,12	11696,92
	500	1333,86	659,00	24215,31	11980,02	665,28	50,59	11570,01
	290	1333,86	665,00	24215,31	12088,80	665,28	50,14	11461,23
	250	1333,86	665,00	24215,31	12088,80	665,28	50,14	11461,23
	66	1333,86	673,00	24215,31	12233,84	665,28	49,55	11316,19
	65	1333,86	673,00	24215,31	12233,84	665,28	49,55	11316,19

Apêndice H – Relação de consumo, custos e economia para a sistema de captação de água pluvial, aplicados na simulação 2.

Método	CONSUMO				CUSTO		ECONOMIA	
	Volume reservatório	Consumo médio mensal de água potável (antes da instalação do sistema)	Novo consumo médio mensal de água potável (após instalação do sistema)	Custo de água potável (antes da instalação do sistema)	Novo custo médio mensal de água potável (após instalação do sistema)	Custo operação do sistema (energia elétrica)	Potencial de economia água potável	Economia média mensal (após instalação do sistema)
Unidade	m ³	m ³ .mês ⁻¹	m ³ .mês ⁻¹	R\$.mês ⁻¹	R\$.mês ⁻¹	R\$.mês ⁻¹	%	R\$. mês ⁻¹
Australiano mensal	5522	1333,86	468,00	24215,31	8517,19	665,28	64,91	15032,84
	1457	1333,86	477,00	24215,31	8680,36	665,28	64,24	14869,67
	1000	1333,86	486,00	24215,31	8843,53	665,28	63,56	14706,50
	500	1333,86	502,00	24215,31	9133,61	665,28	62,36	14416,42
	370	1333,86	508,00	24215,31	9242,39	665,28	61,92	14307,64
	250	1333,86	517,00	24215,31	9405,56	665,28	61,24	14144,47
	84	1333,86	534,00	24215,31	9713,77	665,28	59,97	13836,26
	83	1333,86	534,00	24215,31	9713,77	665,28	59,97	13836,26
Simulação mensal	5522	1333,86	463,00	24215,31	8426,54	665,28	65,29	15123,49
	1457	1333,86	472,00	24215,31	8589,71	665,28	64,61	14960,32
	1000	1333,86	480,00	24215,31	8734,75	665,28	64,01	14815,28
	500	1333,86	495,00	24215,31	9006,70	665,28	62,89	14543,33
	370	1333,86	502,00	24215,31	9133,61	665,28	62,36	14416,42
	250	1333,86	510,00	24215,31	9278,65	665,28	61,77	14271,38
	84	1333,86	527,00	24215,31	9586,86	665,28	60,49	13963,17
	83	1333,86	528,00	24215,31	9604,99	665,28	60,42	13945,04

Apêndice I – Relação de consumo, custos e economia para a sistema de captação de água pluvial, aplicados na simulação 3.

Método	Volume reservatório	CONSUMO		CUSTO		ECONOMIA		
		Consumo médio mensal de água potável (antes da instalação do sistema)	Novo consumo médio mensal de água potável (após instalação do sistema)	Custo de água potável (antes da instalação do sistema)	Novo custo médio mensal de água potável (após instalação do sistema)	Custo operação do sistema (energia elétrica)	Potencial de economia água potável	Economia média mensal (após instalação do sistema)
Unidade	m ³	m ³ .mês ⁻¹	m ³ .mês ⁻¹	R\$.mês ⁻¹	R\$.mês ⁻¹	R\$.mês ⁻¹	%	R\$. mês ⁻¹
Australiano mensal	2946	1333,86	287,00	24215,31	5235,66	665,28	78,48	18314,37
	1457	1333,86	314,00	24215,31	5725,17	665,28	76,46	17824,86
	1000	1333,86	329,00	24215,31	5997,12	665,28	75,33	17552,91
	500	1333,86	361,00	24215,31	6577,28	665,28	72,94	16972,75
	455	1333,86	366,00	24215,31	6667,93	665,28	72,56	16882,10
	250	1333,86	389,00	24215,31	7084,92	665,28	70,84	16465,11
	104	1333,86	411,00	24215,31	7483,78	665,28	69,19	16066,25
	102	1333,86	412,00	24215,31	7501,91	665,28	69,11	16048,12
Simulação mensal	2946	1333,86	283,00	24215,31	5163,14	665,28	78,78	18386,89
	1457	1333,86	307,00	24215,31	5598,26	665,28	76,98	17951,77
	1000	1333,86	322,00	24215,31	5870,21	665,28	75,86	17679,82
	500	1333,86	354,00	24215,31	6450,37	665,28	73,46	17099,66
	455	1333,86	359,00	24215,31	6541,02	665,28	73,09	17009,01
	250	1333,86	382,00	24215,31	6958,01	665,28	71,36	16592,02
	104	1333,86	405,00	24215,31	7375,00	665,28	69,64	16175,03
	102	1333,86	405,00	24215,31	7375,00	665,28	69,64	16175,03