

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E
SANITÁRIA

**APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA
- ESTUDO DA VIABILIDADE EM
DIFERENTES CAPITAIS BRASILEIRAS**

CECÍLIA DE SOUSA ZARDINI

GOIÂNIA
2014

CECÍLIA DE SOUSA ZARDINI

**APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA
- ESTUDO DA VIABILIDADE EM
DIFERENTES CAPITAIS BRASILEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Goiás como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof. Ms. Karla Alcione da Silva Cruvinel

GOIÂNIA
2014

CECÍLIA DE SOUSA ZARDINI

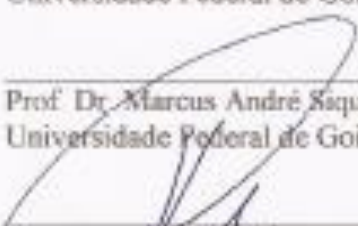
**APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA - ESTUDO DA VIABILIDADE EM
DIFERENTES CAPTAIS BRASILEIRAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Goiás como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

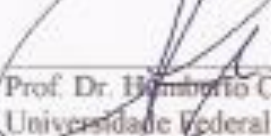
Aprovada em 07/07/2014



Prof. Ms. Karla Azeite da Silva Cruvinel (Presidente)
Universidade Federal de Goiás

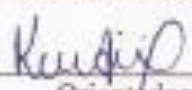


Prof. Dr. Marcus André Saqueira Campos (Examinador)
Universidade Federal de Goiás



Prof. Dr. Humberto Carlos Ruggeri Júnior (Examinador)
Universidade Federal de Goiás

Atesto que as revisões solicitadas foram feitas:



Orientadora
Em: 18/07/2014

RESUMO

Devido à iminente escassez de água potável, a necessidade de substituição desse recurso em atividades que admitem a utilização de águas de qualidade inferior se torna cada vez mais necessária. O presente trabalho teve como objetivo principal analisar potenciais de economia de água potável através do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis a fim de verificar a viabilidade de instalação do sistema. O estudo foi realizado para nove capitais brasileiras considerando os diferentes regimes de precipitação, demanda de água potável e número de moradores por habitação. Para a determinação dos potenciais de economia foi utilizado o programa computacional Netuno 3.0, sendo determinados também os respectivos volumes ideais de reservatórios inferiores para água de chuva em cada capital. Os resultados obtidos mostraram potencial máximo de economia de água potável em Belém (43,73%) e mínimo em São Luís (21,3%) e volume ideal de reservatório inferior máximo em Aracajú (21.500 litros) e mínimo em Belém (4.000 litros). Constatou-se que a maior parte das capitais estudadas apresenta potencial viabilidade para a utilização do sistema de aproveitamento de chuva com potenciais de economia acima de 35%.

Palavras-chave: Economia de água potável. Aproveitamento de águas pluviais. Residências unifamiliares.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Distribuição de água no mundo..... | 15 |
| Figura 2 - Distribuição de água doce no mundo..... | 16 |
| Figura 3 - Demanda mundial de água por setor..... | 18 |
| Figura 4 - Aumento do consumo mundial de água no último século..... | 20 |
| Figura 5 - Valores Médios de Precipitações acumuladas no período de um ano..... | 32 |
| Figura 6 - Precipitações Médias Mensais de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre..... | 33 |
| Figura 7 - Precipitações Médias Mensais de Belo Horizonte, Brasília, Goiânia e Palmas..... | 34 |
| Figura 8 - Precipitações Médias Mensais do Rio de Janeiro, Vitória e São Paulo..... | 34 |
| Figura 9 - Precipitações Médias Mensais de Teresina, São Luís e Fortaleza..... | 35 |
| Figura 10 - Precipitações Médias Mensais de Natal, João Pessoa, Recife, Maceió e Boa Vista..... | 36 |
| Figura 11 - Precipitações Médias Mensais de Belém, Macapá e Aracajú..... | 36 |
| Figura 12 - Distribuição do consumo de água potável em residências brasileiras..... | 39 |
| Figura 13 - Médias das Precipitações acumuladas no período de um ano..... | 42 |
| Figura 14 - Regimes pluviométricos das capitais analisadas..... | 44 |
| Figura 15 - Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Aracajú..... | 48 |
| Figura 16 - Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Belém..... | 49 |

| | |
|---|----|
| Figura 17 - Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Curitiba..... | 50 |
| Figura 18 - Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Goiânia..... | 51 |
| Figura 19 - Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Maceió..... | 52 |
| Figura 20 - Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Natal..... | 52 |
| Figura 21 - Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para São Luís..... | 53 |
| Figura 22 - Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Teresina..... | 54 |
| Figura 23 - Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Vitória..... | 55 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Disponibilidade hídrica em alguns países do mundo..... | 17 |
| Tabela 2 - Consumo médio de água potável em litros por habitante por dia..... | 46 |
| Tabela 3 - Número médio de pessoas por habitação, calculados no Censo de 2010..... | 46 |
| Tabela 4 - Usos da água em residências brasileiras..... | 47 |
| Tabela 5 - Volumes comerciais dos reservatórios superiores..... | 47 |
| Tabela 6 - Resultados indicados para o volume ideal de cada uma das capitais..... | 57 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

| | |
|--------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ANA | Agência Nacional das Águas |
| BDMEP | Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| D | Demanda diária <i>per capita</i> de água potável |
| FAO | Food and Agriculture Organization - Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação |
| hab. | habitante |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| l | litro |
| mm | milímetro |
| MS | Ministério da Saúde |
| n | Número de moradores ou usuários da edificação |
| NBR | Norma Brasileira de Regulamentação |
| pH | Potencial Hidrogenoiônico |
| Psub | Porcentagem de água potável que pode ser substituída por pluvial |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento |
| UNESP | Universidade Estadual Paulista |
| VRSP | Volume do Reservatório Superior |

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 11 |
| 2 OBJETIVOS | 14 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 14 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 14 |
| 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 15 |
| 3.1 RECURSOS HÍDRICOS | 15 |
| 3.1.1 Disponibilidade Hídrica | 15 |
| 3.1.2 Consumo de Água Potável | 17 |
| 3.1.3 Escassez..... | 19 |
| 3.2 CONSERVAÇÃO DE ÁGUA..... | 23 |
| 3.3 APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA..... | 24 |
| 3.3.1 Potencial de Economia de água potável..... | 25 |
| 3.3.2 Qualidade da Água Pluvial..... | 25 |
| 3.3.3 Critérios de Projeto | 26 |
| 4 METODOLOGIA | 31 |
| 4.1 SELEÇÃO DAS CAPITAIS | 31 |
| 4.2 SIMULAÇÃO DOS POTENCIAIS DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL E DOS VOLUMES ÚTEIS DOS RESERVATÓRIOS INFERIORES | 37 |
| 4.2.1 Dados de Precipitação | 37 |
| 4.2.2 Área de Captação | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.3 Demanda de Água Potável | 37 |
| 4.2.4 Número de Moradores | 38 |
| 4.2.5 Porcentagem de água potável a ser substituída por pluvial..... | 38 |
| 4.2.6 Coeficiente de Aproveitamento | 39 |
| 4.2.7 Volume do Reservatório Superior | 39 |
| 4.2.8 Volumes do Reservatório Inferior | 40 |
| 4.2.8.1 Volume Ideal do Reservatório Inferior..... | 40 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 42 |
| 5.1 CAPITAIS ESTUDADAS | 42 |
| 5.2 SIMULAÇÃO DOS POTENCIAIS DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL E DOS VOLUMES ÚTEIS DOS RESERVATÓRIOS INFERIORES | 45 |
| 5.2.1 Demanda de Água Potável | 45 |
| 5.2.2 Número de Moradores | 46 |
| 5.2.3 Porcentagem de água potável a ser substituída por pluvial..... | 46 |
| 5.2.4 Volume do Reservatório Superior | 47 |
| 5.2.6 Volumes do Reservatório Inferior | 47 |
| 5.2.6.1 Volume Ideal do Reservatório Inferior..... | 55 |
| 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 58 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 60 |

1 INTRODUÇÃO

A água potável disponível em diversas fontes naturais como, aquíferos, lençóis freáticos e rios é essencial para a sobrevivência dos seres vivos no planeta Terra, e é esse o principal motivo para que a população tenha que se preocupar com a escassez desse recurso fundamental.

É notável que o ciclo natural deste bem está sendo alterado, e isso pode ser verificado facilmente quando percebe-se secas severas em algumas regiões do mundo ao passo que em outras regiões o problema são as enchentes.

Outro grande problema com relação à água no mundo é a contaminação, que faz com que a mesma se torne imprópria para o consumo direto. A água encontrada hoje em fontes acessíveis para consumo encontra-se, em sua maioria, contaminada por nutrientes e algas em excesso, esgotos urbanos e industriais, resíduos sólidos (urbanos, industriais, de construção civil) e produtos químicos (MAY, 2004).

Portanto, as fontes naturais de água para abastecimento público estão cada vez mais escassas, pois a capacidade de purificação através do processo de reciclagem natural dos poluentes e do processo de filtração natural feito pelo solo e por rochas porosas é mais lento que o processo de contaminação, ou seja, os recursos hídricos recebem hoje, uma carga de poluentes numa frequência e quantidade muito maior do que a sua capacidade de se autorregenerar.

Por isso, para que a água chegue à população com qualidade necessária para consumo necessita-se tratamento cada vez mais severo, com novas e avançadas tecnologias, aumentando assim, os custos de tratamento que são passados das concessionárias de saneamento aos consumidores, o que exige maior atenção quanto às prioridades de usos das águas para as diferentes finalidades (MIERZWA; HESPANHOL¹, 2005 *apud* LAGE, 2010).

¹ MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: Uso racional e reúso**. SP: Oficina de Textos. São Paulo, SP, 2005.

Dentro desse contexto, cabe destacar as medidas de conservação de água. Elas vêm sendo adotadas no mundo todo para diminuir o impacto da depleção das fontes que fornecem água para o consumo da biosfera em geral. Um exemplo dessas medidas, que vem crescendo no mundo todo, é o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, que utiliza o recurso natural de uma fonte diferente das já existentes e auxilia na redução do consumo de água potável.

Para enfatizar a importância do aproveitamento da água de chuva Tomaz (2003) e Amorim e Pereira (2008) citam que esta prática, além de promover a economia de água potável, contribui na prevenção de enchentes causadas por precipitações em grandes centros urbanos, onde a superfície é impermeável impedindo a infiltração da água no solo, sendo considerada como medida não-estrutural no sistema de drenagem urbana.

Além de proporcionar economia de água potável, o aproveitamento da água pluvial em residências pode reduzir as despesas com água potável e contribuir para a diminuição do pico de inundações, quando aplicada em larga escala, de forma planejada e em uma bacia hidrográfica. (LIMA *et al.* 2011, p.292)

Em alguns casos mais críticos, onde a incidência de chuvas é muito baixa e conseqüentemente a disponibilidade de água potável também, observa-se ainda o uso desta água de chuva para fins potáveis como descreve Bezerra *et al.* (2010). Daí se verifica que a implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva é essencial nos programas de conservação de água.

O Brasil com sua significativa disponibilidade de água, considerada aqui, como bem de uso comum do povo e tendo pequena valorização econômica incentiva assim, a cultura do desperdício (Lima *et al.* 2011). Outro agravante é que no país as concessionárias de água e esgoto bem como o governo brasileiro não possuem programas de incentivo para que a população adote a prática do aproveitamento de águas pluviais.

Assim sendo, verificou-se a importância de estudar e analisar, para diferentes capitais brasileiras, o potencial de economia de água potável de cada uma

dessas capitais, quando da utilização de um sistema de aproveitamento de água de chuva em atividades que permitem a substituição de água potável por água pluvial, sendo consideradas as características específicas de cada.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem por objetivo geral avaliar a viabilidade do aproveitamento de águas pluviais através do potencial de economia de água potável para diferentes capitais brasileiras, levando em consideração os diferentes regimes pluviométricos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- i. Identificar o regime pluviométrico das diferentes capitais brasileiras através do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);
- ii. Levantar o potencial de economia de água potável para cada capital através do programa computacional Netuno;
- iii. Determinar os volumes dos reservatórios de águas pluviais para cada situação;
- iv. Avaliar a influência do regime pluviométrico no potencial para aproveitamento de água de chuva.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RECURSOS HÍDRICOS

3.1.1 Disponibilidade Hídrica

O volume de água na Terra é constante e, o que varia é: o volume de disponível nas diferentes formas de armazenamento e a qualidade deste recurso. A água pode estar armazenada nas calotas polares e geleiras, em sua forma sólida; nos oceanos, lagos, rios, aquíferos e lençol freático, em sua forma líquida, e na atmosfera, na forma de vapor. A atual distribuição de água no planeta esta apresentada nas Figuras 1 e 2.

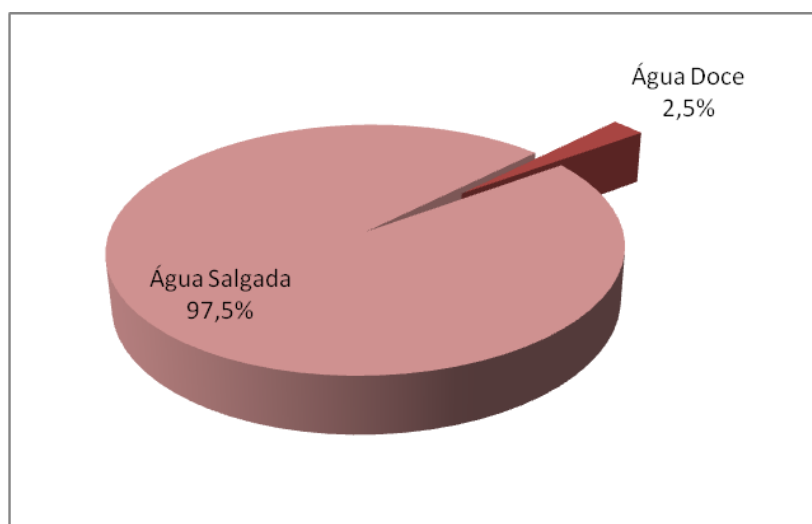


Figura 1 – Distribuição de água no mundo. (Adaptado de ANA, 2001).

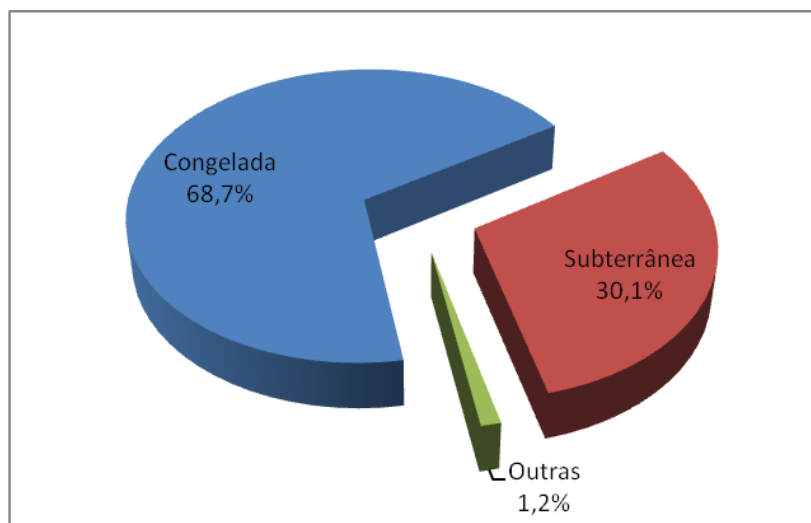


Figura 2 – Distribuição de água doce no mundo. (Adaptado de ANA, 2001).

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), apenas 0,27% da água doce do mundo ou 0,007% da água total do mundo estão disponíveis nas formas mais fáceis para o consumo, ou seja, em rios e lagos (ANA, 2001).

Com o grande aumento populacional e consequente processo de urbanização, os solos vão sendo impermeabilizados e a água que deveria recarregar o lençol freático esco rapidamente pelo solo impermeabilizado alterando o ciclo hidrológico.

Em qualquer região da Terra a água tem sua disponibilidade variável no tempo (com o passar dos anos e ao longo deles) e no espaço (localização no planeta) de acordo com as condições de cada lugar, e esta disponibilidade pode, ainda, sofrer influências das atividades antrópicas (MIERZWA; HESPANHOL², 2005 *apud* LAGE, 2010). Dados da disponibilidade hídrica ou, água acessível ao uso, de alguns países no ano de 2005, são apresentados na Tabela 1 em metros cúbicos por habitante por ano.

O Brasil é detentor de 12% da disponibilidade hídrica do mundo, porém, segundo Lima *et al.* (2011), esta disponibilidade hídrica vem diminuindo, entre os anos de 1980 e 2007 a redução da disponibilidade hídrica *per capita* foi de 66%. Pode-se identificar como motivos para a diminuição, o crescimento populacional, a deterioração

² MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: Uso racional e reúso**. SP: Oficina de Textos. São Paulo, SP, 2005.

dos recursos hídricos e o uso irracional como citam Amorim e Pereira (2008). Outro fator, citado por Tomaz (2003, p. 9), é o “desequilíbrio entre a distribuição demográfica, industrial e agrícola, e a concentração de água”.

No Brasil a distribuição dos recursos hídricos é bastante heterogênea, a região Norte é detentora da maior parte desses recursos com significantes 81% do total do país e a sua população é cerca de apenas 5%, enquanto a região Sudeste que possui a maior concentração da população total, cerca de 45,5%, dispõe de apenas 2,7% da disponibilidade hídrica total do Brasil (ANA, 2013).

Tabela 1 – Disponibilidade hídrica em alguns países do mundo.

| DISPONIBILIDADE HÍDRICA PER CAPITA POR ANO | | | |
|---|------------------------|-----------------------|--|
| Ranking | País | Continente | Recursos Hídricos (m³/habitante.ano) |
| 1 | Groelândia | América do Norte | 10.767.857 |
| 2 | Alasca, Estados Unidos | América do Norte | 1.563.168 |
| 3 | Guiana Francesa | América do Sul | 812.121 |
| 4 | Islândia | Europa | 609.319 |
| 25 | Brasil | América do Sul | 48.314 |
| 94 | México | América do Norte | 4.624 |
| 104 | França | Europa | 3.439 |
| 106 | Japão | Ásia | 3.383 |
| 107 | Itália | Europa | 3.325 |
| 111 | Nigéria | África | 3.107 |
| 133 | Índia | Ásia | 1.880 |
| 134 | Alemanha | Europa | 1.878 |
| 167 | Israel | Ásia | 276 |
| 178 | Emirados Árabes Unidos | Ásia | 58 |
| 180 | Kuwait | Ásia | 10 |

FONTE: ANA – Agência Nacional de Águas (2005).

3.1.2 Consumo de Água Potável

Estudos sobre hábitos dos povos primitivos revelam que a água era utilizada somente para necessidades básicas, como hidratação, e que os métodos de armazenamento eram bastante simples, porém, as necessidades humanas, com relação aos usos da água, se multiplicaram juntamente com o aumento da quantidade de

indivíduos da espécie. Com isso, foram criadas novas formas de utilização, como a irrigação, aumentando o consumo, exigindo maior facilidade de acesso às fontes existentes, incluindo novos métodos de extração como a captação de águas subterrâneas e conseqüentemente, deteriorando cada vez mais a qualidade dos recursos hídricos (SILVA, 2013).

Nos atuais dias, o consumo de água doce é cerca de seis vezes mais o que era consumido em 1900, mesmo que o crescimento populacional não tenha seguido a mesma proporção durante esses anos. A agricultura é a principal responsável pelo elevado índice de consumo utilizando significantes 70% do total da água extraída seguida pelo setor industrial (o que inclui a produção de energia) com 19% do total e pelo setor municipal com 11%, como pode ser visto na Figura 3. A indústria ocupa o segundo lugar no ranking de consumo seguida dos municípios (consumos domésticos, comerciais). Contudo, estimativas indicam que o crescimento do consumo mundial no setor agrícola será de 19% até o ano de 2050 (incluindo a capacidade pluvial e a agricultura irrigada), enquanto que as estimativas relacionadas ao setor industrial indicam que o consumo de água será o dobro em 2025, e que a emissão de poluentes lançados por este setor nos corpos d'água será quadruplicado (SOECO/MG³, 2009 *apud* LAGE, 2010; UNESCO 2012).

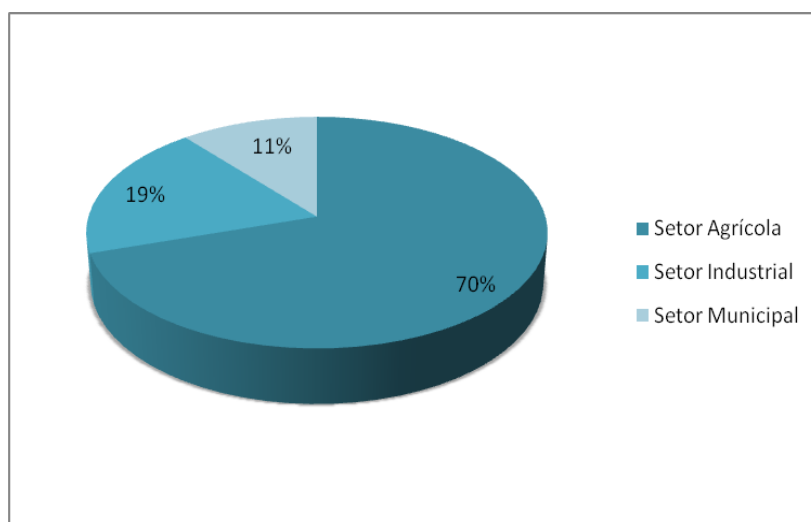


Figura 3 – Demanda mundial de água por setor. (Adaptado de FAO, 2014a).

³ SOECO/MG ,Gerenciamento Sustentável da Água da Chuva., Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://www.soecomg.hpg.ig.com.br/agua8.htm>>. Acesso em: 11 jul. 2009.

A disparidade do consumo médio *per capita* de água em diferentes regiões é notável. Em países como Moçambique, por exemplo, o consumo é inferior a 10 litros/hab.dia, enquanto nos Estados Unidos chega a 575 litros/hab.dia (UNDP⁴, 2006 *apud* HAGEMANN, 2009).

Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do ano de 2000, mostram que, a demanda de água na região Sudeste do Brasil, neste mesmo ano, alcançou os 360 l/hab.dia, enquanto que na região Norte do país o volume era de 190 l/hab.dia. E levando-se em consideração que o maior percentual da população brasileira localiza-se na região sudeste, conclui-se que essa região é a maior consumidora de água potável do país e conseqüentemente, onde há maiores desperdícios. De acordo com o Programa de Uso Racional de Água da Universidade de São Paulo (2006), quase 1/3 de toda água potável consumida nas residências brasileiras é utilizada em bacias sanitárias, resumindo, cerca de 30% de água potável poderia ser economizada, se fossem implantadas nas residências sistemas utilizadores de fontes alternativas de água para essa finalidade. Como exemplo, pode ser citado o sistema de captação e aproveitamento de águas de chuva, que podem ser utilizadas em pontos de consumo que não exigem potabilidade da água, como é o caso das bacias sanitárias (LAGE, 2010).

3.1.3 Escassez

A distribuição de água no mundo apresenta significativa variação no tempo e no espaço, fazendo com que várias regiões se tornem vulneráveis à frequente falta de água. Em 2005, aproximadamente 8% da população total do planeta era vulnerável à falta de água e, segundo estimativas realizadas na época, cerca de mais 25% estavam indo na mesma direção. A redução na disponibilidade de água acarretada pela constante contaminação dos recursos hídricos e pelo aumento do consumo nos setores industrial, agrícola e municipal é bastante visível quando se compara dados de 1950, onde as reservas mundiais apresentavam 16,8 mil m³/hab., enquanto que em 2005 esse valor foi reduzido a 7,3 mil m³/hab., podendo ser reduzido ainda mais para cerca de 4,8 mil

⁴ UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (UNDP). **Human Development Report 2006: Power, poverty and the global water crisis** (2006). Disponível em: <<http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2006>>. Acesso em: 24 nov. 2008.

m³/hab. até o ano 2030. De 1950 a 2000 a quantidade de habitantes no mundo triplicou, o consumo *per capita* dobrou e o volume total de água retirada das reservas disponíveis aumentou aproximadamente nove vezes (TUCCI, 2005).

Várias regiões do mundo já sofrem com problemas de falta de água, e o crescimento demográfico juntamente com o desenvolvimento econômico vem pressionando os recursos hídricos, muitas vezes de forma irreversível, principalmente em regiões áridas. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), ao longo do século passado, o aumento do consumo de água (Figura 4) foi duas vezes maior que a taxa de crescimento populacional. Ainda segundo a FAO, as previsões para o ano de 2025 é de que cerca de 1,8 bilhões de pessoas no mundo todo vivam em regiões ou países com absoluta escassez de água (menos de 500 m³/hab.ano), e que aproximadamente dois terços da população mundial enfrentarão condições de estresse hídrico (valores entre 500 e 1000 m³/hab.ano) (FAO, 2014b).

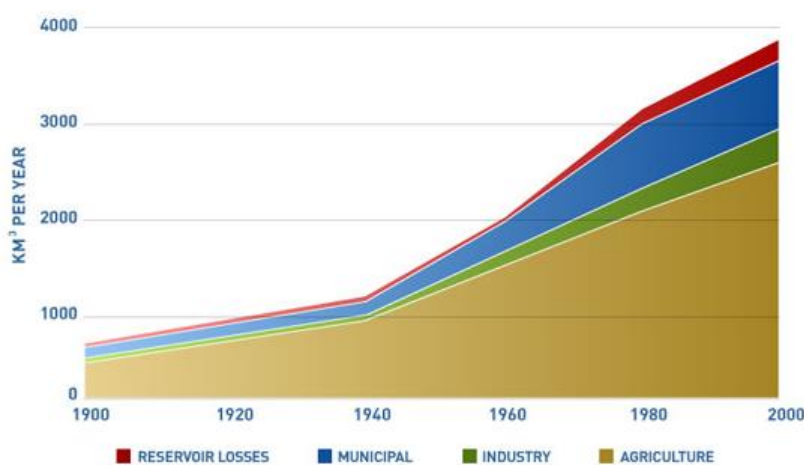


Figura 4 - Aumento do consumo mundial de água no último século.

FONTE: FAO (2008).

Novas fontes de recursos são procuradas de forma contínua por planejadores e gestores dos recursos hídricos, principalmente em regiões áridas e semiáridas, para complementar a pouca disponibilidade de água ainda presente nessas regiões, visto que esse recurso essencial se torna, cada vez mais, um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Como exemplo, podem ser citados vários países situados no oriente médio, dependentes de alguns pequenos reservatórios de água

subterrânea localizados em regiões de difícil acesso e alguns poucos corpos d'água perenes. Nesses países a faixa de precipitação anual média varia apenas de 100 a 200 milímetros (HESPANHOL, 2002).

Em muitos locais do planeta como México, Índia, África e China observa-se áreas sob rigorosa tensão hídrica, onde espelhos d'água recuam até um metro por ano (SOMERVILLE *et al.*⁵, 2001 *apud* LAGE, 2010). No México, onde, nos últimos 50 anos, houve redução de 60% dos mananciais sendo que dos cursos d'água restantes 93% estão poluídos, a disponibilidade hídrica *per capita* chega a ser menor que em países como o Egito, que tem em seu território grandes áreas desérticas. Na Jordânia houve a necessidade de se adotar planos emergenciais, racionando o abastecimento doméstico, onde a população recebe água apenas 33 horas por semana (HESPANHOL⁶, 2001 *apud* HAGEMANN, 2009).

O fenômeno da escassez também se faz presente em alguns locais que apresentam abundância de recursos hídricos. Isso acontece porque a demanda é tão excessivamente maior, que mesmo com uma grande quantidade de água disponível essas regiões sofrem com conflitos nos diferentes usos desse recurso bem como restrições no consumo. Como exemplo, mostra-se a bacia do alto Tietê que não consegue sozinha, abastecer a demanda de uma população de mais de 15 milhões de habitantes além de um dos maiores complexos industriais do mundo que estão localizados na região Metropolitana da cidade de São Paulo abrangendo ainda, alguns municípios circunvizinhos. Com isso, recursos hídricos complementares são procurados em bacias próximas fazendo com que haja conseqüentemente, aumento de custos, e problemas político-intitucionais e legais. Analisando toda a problemática, a substituição da água potável por águas de qualidade inferior, para atender as demandas menos restritivas, se torna fundamentalmente admissível (HESPANHOL, 2002).

No Brasil, a heterogeneidade na distribuição dos recursos hídricos faz com que, mesmo com a abundância deste recurso no país, várias comunidades vivam em

⁵ SOMERVILLE, C.; BRICOE, J. (2001). Genetic engineering and water. **Science**, 292, 2217, 2001.

⁶ HESPANHOL, I. Economia de água. **Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente (BIO)**, Rio de Janeiro, abr./jun. 2001. Caderno Especial, p.19.

situações críticas devido à escassez (GHISI⁷, 2006 *apud* LAGE, 2010). O semiárido nordestino do Brasil é um exemplo do efeito devastador da falta de água, pois a maior parte dessa região do país sofre com grandes períodos de estiagem, tendo seu período chuvoso concentrando durante apenas quatro meses, de fevereiro a maio (RODRIGUES DA SILVA *et al.*⁸, 1998, *apud* SILVA *et al.*, 1999).

Para minimizar a problemática da escassez hídrica o Brasil, e outros países no mundo todo devem incentivar cada vez mais programas focados na conservação da água, que procuram combater o uso irracional além de incentivarem a utilização de novas fontes, como o reuso de águas residuárias e o aproveitamento de águas pluviais. Se tratando do uso racional da água, deve ser lembrado que é essencial que haja investimentos na gestão da demanda de água em edifícios, residências, comércios e indústrias com a instalação, ou troca, de alguns componentes como bacia de volume reduzido de descarga, torneiras economizadoras e arejadores. Dentro do contexto de conservação de água vale destacar a importância da instalação de sistemas que utilizem fontes alternativas de abastecimento de água, tomando-se o cuidado para que as águas de qualidade inferior sejam utilizadas apenas em atividades que sejam compatíveis (OLIVEIRA⁹, 2009 *apud* LAGE, 2010).

Uma fonte alternativa de abastecimento que está se mostrando viável em vários lugares do mundo é a captação e aproveitamento da água pluvial. O sistema normalmente é constituído por uma superfície de captação (cobertura ou piso impermeável), calhas e de tubulações verticais e horizontais para transportar a água até o (s) local (ais) de armazenamento, e um sistema de tratamento, que pode ser um simples separador de sólidos ou até mesmo um sistema de desinfecção. O sistema de

⁷ GHISI, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**, v. 41, n. 11, p. 1544-1550, 2006.

⁸ RODRIGUES DA SILVA, V.P., MACIEL, G.F.; GUEDES, M.J.F. Influência dos eventos fortes do fenômeno El Niño na precipitação pluvial do Nordeste do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 10, e Congresso da FLISMET, 8, 1998, Brasília, Anais... Brasília: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998, CD.

⁹ OLIVEIRA, L. G. **Estudo simplificado de implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para o uso não-potável em edificações da Universidade Federal de Sergipe**. Trabalho de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, SE, 2009.

tratamento deve ser adotado de acordo com a intenção de utilização da água, visando atender as leis que protegem a saúde e o bem estar do ser humano.

3.2 CONSERVAÇÃO DE ÁGUA

Para que haja o equilíbrio entre a oferta e a demanda de água potável faz-se necessário o desenvolvimento de métodos e sistemas alternativos modernos. Nesse contexto, práticas conservacionistas associadas ao reuso, à reciclagem, à redução de perdas, à minimização da geração de efluentes e à gestão da demanda são fundamentais na gestão dos recursos hídricos e na redução da poluição (FIESP, 2005).

A conservação de água consiste em práticas, técnicas e tecnologias que promovem o aperfeiçoamento da eficiência do uso da água. As medidas de conservação da água potável podem ser descritas como ações que evitam a contaminação, reduzem o consumo, o desperdício e as perdas de água nos sistemas de abastecimento público, aumentam a eficiência do uso e promovem reciclagem e reutilização da água (FIESP, 2004).

Na implementação de um programa de conservação de água faz-se necessário que a distribuição do consumo seja conhecida, pois essa distribuição é bem variável dependendo do tipo de edificação como também em edificações de mesma tipologia dependendo, neste caso, das características dos usuários envolvidos e das especificidades dos sistemas. A distribuição dos usos em edificações residenciais consiste, principalmente, em atividades de limpeza, higiene, irrigação e lavagem de veículos e piscinas (FIESP, 2005).

Deve-se tomar o cuidado de não confundir o conceito de conservação de água com uso racional. Uso racional da água é, segundo Gonçalves (2009), a “otimização em busca do menor consumo de água possível mantidas, em qualidade e quantidade, as atividades consumidoras”, sendo ela uma das medidas de conservação.

Segundo a FIESP (2005) o uso racional de água aborda apenas a demanda de água da edificação, sendo que a sua implementação sistematiza as intervenções que devem ser realizadas na edificação de uma maneira em que as ações de redução do

consumo resultem do vasto conhecimento do sistema, desperdiçando o mínimo de água potável e garantindo sempre, para a realização das atividades consumidoras, a qualidade necessária. Porém, na maioria das edificações, a água potável é utilizada em praticamente todas as atividades, independentemente de uma análise prévia da qualidade da água necessária para determinado uso. Já a conservação de água aborda não somente a demanda, mas também a oferta de água, estando a mesma associada à gestão desse recurso, de forma que, sempre que possível, os usos menos nobres sejam supridos por águas de qualidade inferior, ou seja, águas não potáveis.

3.3 APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA

O aproveitamento de água de chuva está inserido no contexto de Conservação de água, sendo conceituada pela NBR - 15.527/2007 como toda a água resultante de precipitações atmosféricas coletada em coberturas, telhados, onde não haja circulação de pessoas, veículos ou animais.

É de suma importância frisar, que a economia da água potável através do uso da água proveniente das chuvas diminui o desperdício de uma água limpa e pura em atividades como lavagem de carros, rega de plantas e gramados, descargas em bacias sanitárias, limpeza de calçadas ruas e pátios, espelhos d' água e algumas aplicações industriais (ABNT, 2007).

Ao contrário do que acontece no Brasil a conservação de água já é bastante utilizada em países da América do Norte, Europa e no Japão. Tomaz (2003, p.19) apresenta exemplos de incentivos no Texas, com a cidade de Austin que fornece US\$ 500 a quem instalar sistema de captação de água de chuva e “a cidade de San Antônio que fornece US\$200 para quem economizar 1.230m³ de água da rede pública usando água de chuva, durante o período de 10 anos”.

Mesmo a cidade de Sumida, no Japão, que tem precipitação média anual de aproximadamente 1.400mm, adota a prática de aproveitamento de água de chuva como medida de segurança preventiva para casos de emergência no abastecimento público de água. Com o intuito de também conter enchentes, na cidade de Hamburgo, Alemanha, é

concedido cerca de US\$1.500 a US\$2.000 a quem aproveitar as águas de chuva (TOMAZ, 2003).

3.3.1 Potencial de Economia de água potável

O potencial de economia de água potável consiste na porcentagem de água tratada que pode ser substituída, ou economizada através do uso de outras fontes. O estudo deste potencial de economia é importante para a realização da análise da viabilidade econômica da implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva. Cientes dessa importância, alguns autores vêm estudando sobre o assunto.

Na cidade de Curitiba, Zolet (2005) verificou que a região urbana possui ótimo potencial para a utilização de águas pluviais, considerando o clima e a constante das precipitações, podendo reduzir em até 50% o consumo de água potável na capital, se substituída por água pluvial na descarga de vasos sanitários, máquinas de lavar roupas, irrigação de jardins e lavagem de carros e pisos.

Em um trabalho realizado por Ghisi e Marinoski (2008), a fim de obter uma análise da viabilidade econômica de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em uma instituição de ensino localizada em Florianópolis-SC, foi concluído que, a implantação do sistema no local do estudo era economicamente viável, porque apresentou um período de retorno do investimento considerado relativamente curto (de 4 anos e 10 meses) e também dados que mostraram um grande potencial de economia de água potável (45,8%). Os volumes dos reservatórios de água pluvial foram determinados com o auxílio do programa computacional Netuno e, o custo relativo à implantação do sistema, após uma pesquisa de mercado na época, foi de R\$ 17.615,56.

Na cidade de Goiânia, Pereira *et al.* (2008) estudou, a viabilidade econômica para a instalação de sistemas de utilização de água de chuva considerando, a precipitação média da capital e diferentes valores de consumo, obtendo resultados positivos em todos os casos.

Gadelha *et al.* (2008) estudaram a viabilidade econômica da utilização de um sistema de aproveitamento da água pluvial em João Pessoa para três tipos padrão de residências, com níveis socioeconômicos distintos: um popular, um médio e um alto. Concluindo que, para residências de padrão popular e médio, o aproveitamento de águas pluviais no âmbito predial é uma alternativa economicamente inviável. Já para as residências de alto padrão, tendo em vista que os valores, da tarifa e das águas pluviais utilizadas, são relativamente mais elevados, os autores concluíram que a alternativa é economicamente viável, com valor presente líquido variando de R\$ 1.278,17 a R\$ 2.254,00, razão benefício/custo variando de 1,30 a 1,47, e período de retorno dos investimentos variando de 8,17 a 10,19 anos.

Lage (2010) estudou a viabilidade econômica da utilização de água de chuva na lavagem de carros em concessionárias de veículos da cidade de Belo Horizonte, obtendo resultados positivos. Os valores de economia de água potável se mantiveram entre 9,74% e 26,80%, o período de retorno dos investimentos para a implantação do sistema ficou entre 6 anos e 3 meses e 11 anos e 11 meses aproximadamente.

Lima *et al.* (2011) estudaram o potencial de economia de água potável através da utilização de águas pluviais para quarenta cidades da região amazônica e obtiveram como resultado uma faixa entre 21% e 100% de potencial de economia e um valor de potencial de economia médio de 76%.

3.3.2 Qualidade da Água Pluvial

Ao se pensar na utilização de água de chuva para fins específicos deve-se tomar o cuidado de verificar a qualidade desta e determinar, se necessário, o processo de tratamento mais adequado que deverá ser aplicado na mesma, respeitando a Resolução CONAMA 357/2005 que classifica os corpos d'água e estabelece o tipo de uso que se pode ter de acordo com as características físico-químicas e biológicas da água (ABNT, 2007).

Alguns estudos para determinar a qualidade das águas pluviais já foram feitos no país abordando assuntos como: tipos de tratamento necessários, de acordo com

os múltiplos usos das águas pluviais; e qualidade das águas pluviais em relação ao que é exigido pela resolução CONAMA 357/2005 e pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (MS) que “estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências”.

Como se sabe, o setor agrícola é responsável por 70% do consumo de água potável no mundo e, segundo estudo realizado na Universidade Estadual Paulista (UNESP) de Ilha Solteira – SP a fim de avaliar a qualidade das águas pluviais para a utilização na irrigação, indicou que a água de chuva coletada na pesquisa poderia ser utilizada sem problemas na irrigação, pois apresentou níveis de concentração de nitrato, nitrito, coliformes termotolerantes, sulfato, ferro total e pH abaixo dos limites permitidos pela Resolução CONAMA 357/05, (LEITE *et al.*, 2012).

Em residências, alguns estudos mostram que para usos onde não se exige potabilidade da água, a utilização da água de chuva é permitida quando verificadas as exigências das legislações pertinentes, sendo esse recurso alternativo, fundamental na economia da água de boa qualidade. Dentro deste contexto cabe ressaltar que alguns cuidados devem ser tomados para que a utilização não traga nenhum risco à saúde do usuário.

Segundo Hagemann (2009), a qualidade da água da chuva, em alguns casos, pode ser melhor que a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, quando se considera a possibilidade dessa água não entrar em contato com o solo nem estar diretamente sujeita à ação de poluentes descartados por ações humanas. Porém sabe-se que a qualidade do ar exerce influência sobre a qualidade da água de chuva seja por ações antrópicas ou por processos naturais, alterando assim a sua qualidade. Outros fatores que influenciam a qualidade das águas pluviais, quando se trata do aproveitamento, são a área de captação, calhas e tubulações, e o armazenamento final, fazendo-se necessário o descarte dos primeiros milímetros de chuva na tentativa de diminuir tais influências.

Jaques (2005) desenvolveu um trabalho sobre qualidade da água de chuva em Florianópolis – SC e encontrou valores acima dos permitidos na Portaria do

Ministério da Saúde (MS) para cor, turbidez e coliformes fecais, o que indica que esta água é imprópria para consumo humano. Para finalidades não potáveis como descarga em bacias sanitárias o autor diz que é necessário apenas um tratamento simples de remoção de sólidos grosseiros, o que é permitido, pois a água não tem contato direto com o usuário. Já para usos que tenham o risco de contato direto com pessoas, como rega de jardins e lavagem de carros o autor recomenda que os pontos de consumo como mangueiras e torneiras tenham sinalizações claras indicando que a água não é potável.

No trabalho realizado na cidade de Catalão – GO por Gomes *et al.*, os autores analisaram água de chuva de precipitações nos meses de dezembro de 2010 e janeiro de 2011, meses onde há a maior quantidade de precipitação no município. Foi indicado que para alguns parâmetros como amônia, cloretos e oxigênio consumido aquela água se enquadrava nas exigências da Portaria do MS para fins não potáveis. Porém indicou altos valores de dureza total e pH e nesse caso os autores aconselham que haja um tratamento prévio para a utilização desta água. Não foram encontrados no trabalho informações que indiquem que as primeiras chuvas foram descartadas o que, talvez, possa ter acarretado a leitura de altas concentrações em alguns parâmetros.

Já em um trabalho desenvolvido em Vitória – ES por Anecchini (2005) orientou-se a necessidade do descarte dos primeiros milímetros de chuva, pois verificou-se que a qualidade nesse período diminui conforme a água escoar pela área de captação, o que é amenizado após um primeiro instante e, concluiu-se também que a água pluvial do município apresenta qualidade compatível para fins não potáveis.

3.3.3 Critérios de Projeto

As normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que se relacionam com o tema aproveitamento de água de chuva são:

- ✓ NBR 10844/89 que tem como título “Instalações prediais de águas pluviais” e “fixa exigências e critérios necessários aos projetos das instalações de drenagem de águas pluviais, visando a garantir níveis aceitáveis de funcionalidade, segurança, higiene, conforto, durabilidade e economia”;

- ✓ NBR 15527/07 que trás como título “Água de Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos” fornecendo “os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis”;
- ✓ NBR 5626/98 que vem com o título “Instalação predial de água fria” e dispõe sobre “exigências e recomendações relativas ao projeto, execução e manutenção da instalação predial de água fria”.

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais são compostos basicamente por área de captação (telhados/coberturas), condutores horizontais e verticais (calhas e tubulação), reservatórios e a tubulação de distribuição. O tratamento que deverá ser aplicado à água será especificado de acordo com a finalidade do uso.

Sabe-se que os reservatórios são os itens mais caros e que ocupam mais espaço de todo o sistema, por isso trabalhos vêm sendo realizados a fim de otimizar o dimensionamento dos mesmos. Bezerra *et al.* (2010) e Amorim e Pereira (2008) fizeram estudos comparando alguns métodos de dimensionamento disponíveis e concluíram em seus trabalhos que para cada regime de pluviometria deve ser utilizado um método que tenha como resultado o dimensionamento do reservatório mais próximo do ótimo possível e que, portanto, não se deve utilizar o mesmo método para vários casos diferentes e/ou escolher um método aleatoriamente.

A NBR – 15.527/07 indica seis diferentes métodos para o cálculo de dimensionamento do reservatório para armazenamento de águas de chuva, sendo eles:

1. Método de Rippl;
2. Método da Simulação;
3. Método Azevedo Neto;
4. Método Prático Alemão;
5. Método Prático Inglês;

6. Método Prático Australiano.

Além dos métodos recomendados na norma existe um programa computacional desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina, o Netuno. Este programa é um software livre, bastante utilizado ultimamente, que tem por objetivo principal estimar o potencial de economia de água potável através da sua substituição por água de chuva em pontos de consumo onde não se necessita da água potável, ou seja, para usos onde não se necessita obrigatoriamente uma água que atenda a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde. O programa computacional também estima o volume de água pluvial extravasado anualmente, o volume total consumido de água pluvial e a porcentagem de dias em que a demanda de água pluvial é atendida totalmente, parcialmente ou não é atendida. Além disso, o programa também realiza a análise econômica da implantação do sistema calculando a taxa mínima de atratividade (GHISI *et al.* 2009).

Um estudo realizado em 2011, com o objetivo de comparar os métodos para dimensionamento de reservatório de água pluvial sugeridos na NBR - 15.527/07 com o Netuno, reafirma que a escolha do método de dimensionamento é crucial para que os reservatórios não sejam nem subdimensionados nem superdimensionados. Segundo os autores, alguns métodos não são adequados, pois independentemente do regime pluviométrico ou da demanda de água pluvial estes retornam sempre o mesmo volume de reservatório. Segundo os autores, o Netuno consegue simular o dimensionamento do reservatório para qualquer situação, ajustando mais racionalmente o tamanho do reservatório em função da demanda de água de chuva e do regime de precipitação (RUPP *et al.*, 2011).

4 METODOLOGIA

4.1 SELEÇÃO DAS CAPITALS

Para a escolha das diferentes capitais foram obtidos dados de precipitações médias mensais no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Buscou-se dados em um intervalo de dez anos (de 01/01/2004 a 31/12/2013) de todas as capitais do país. Através dessas informações fez-se as médias mensais para o período de dez anos e também a soma dessas médias para a obtenção dos volumes médios de precipitação acumulados durante o período de um ano. Procurou-se escolher capitais com comportamentos distintos de pluviometria principalmente nos casos em que os valores médios de chuva acumulada são próximos.

Construiu-se então um gráfico com médias de volume acumulado em um ano (Figura 5). Para facilitar e agilizar o processo do trabalho, na construção do gráfico, fez-se a exclusão de capitais que apresentavam a falta de algum, ou nenhum dado de precipitação. Após a elaboração do gráfico fez-se a análise e optou-se primeiramente por escolher as capitais com maior e menor volume de precipitação acumulada.

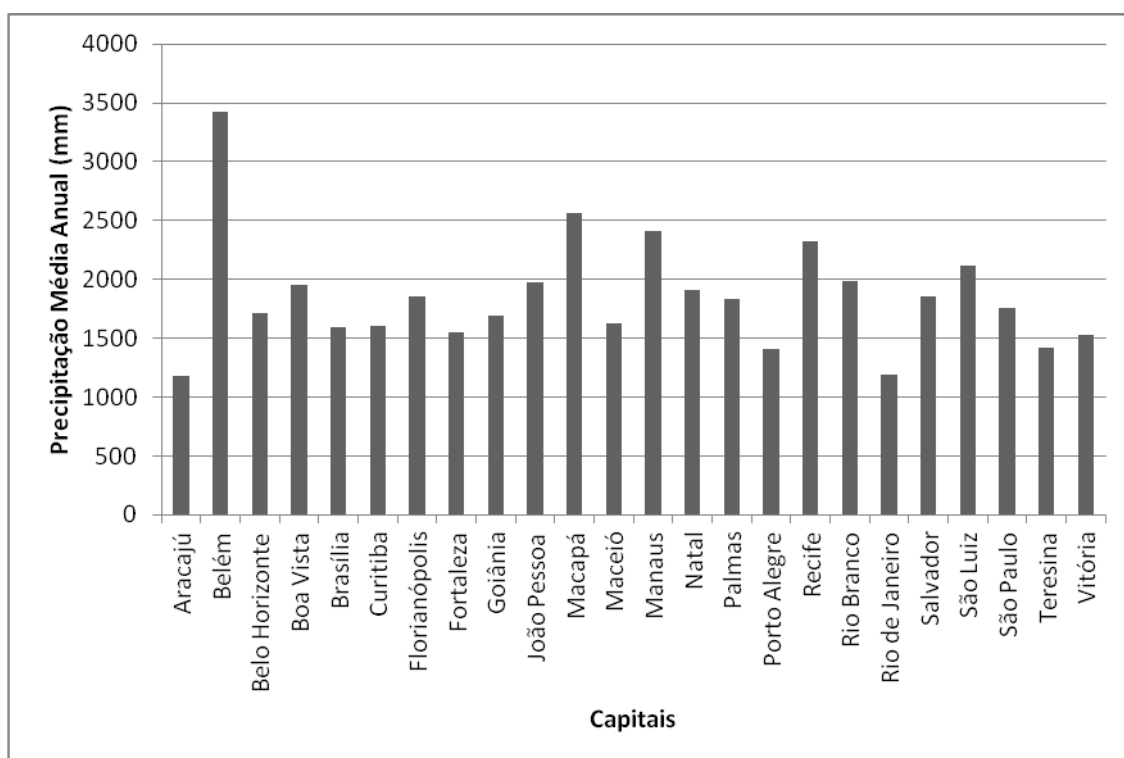


Figura 5 – Valores Médios de Precipitações acumuladas no período de um ano.

FONTE: INMET (2014).

Posteriormente, as capitais foram agrupadas em seis gráficos distintos (Figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11) de acordo com o comportamento de seus regimes pluviométricos durante o ano, ou seja, foram agrupadas capitais com regimes pluviométricos semelhantes, independente da região do país em que as mesmas se encontram. As outras sete capitais foram escolhidas de forma aleatória dentro dos grupos de gráficos. Naqueles grupos em que uma ou mais capitais, mesmo com o regime pluviométrico semelhante às outras, apresentaram alguns pontos significativamente discrepantes, como é o caso da Figura 9, escolheu-se mais de uma capital. Foram excluídas da seleção as capitais que apresentavam a falta de algum dado como, consumo médio *per capita* e média de moradores por habitação, sendo estes cruciais para a realização deste estudo.

Nas referências utilizadas para a obtenção dos dados necessários ao desenvolvimento da metodologia escolhida neste trabalho, Manaus e Rio Branco, presentes na Figura 5, apresentaram-se com a falta de dados de consumo *per capita* de água potável e média de pessoas por habitação, respectivamente. Portanto estas duas capitais não fazem parte de nenhum dos grupos de gráficos que seguem.

A Figura 6 a seguir ilustra o gráfico das capitais da região sul do país, que apresentam regimes semelhantes de precipitações ao longo do ano. Pode-se observar que suas médias mensais apresentam valores maiores que 50mm e menores que 250mm. Dentro deste grupo escolheu-se uma capital.

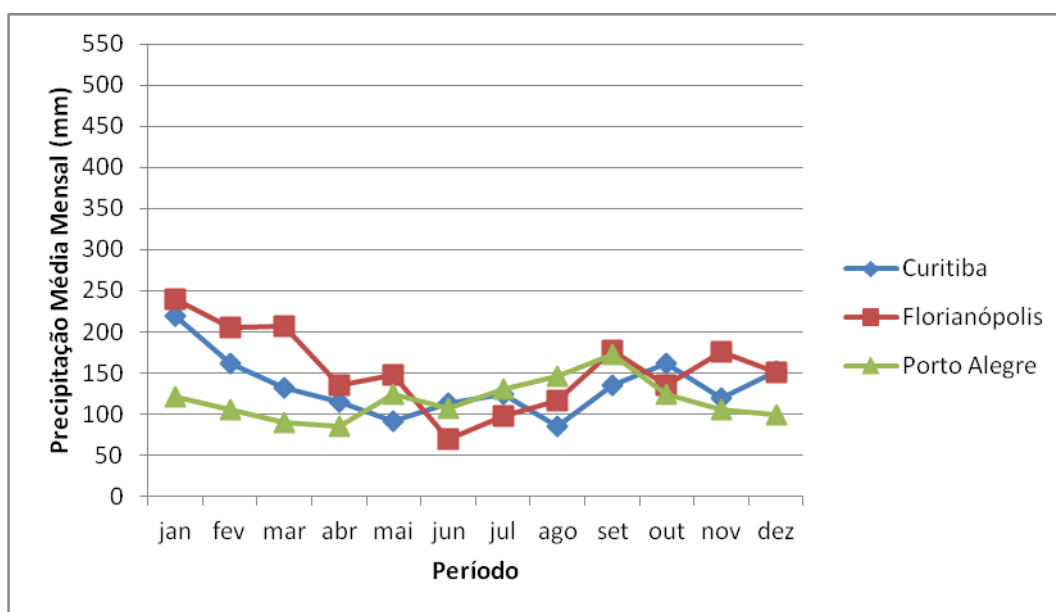


Figura 6 – Precipitações Médias Mensais de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre.

FONTE: INMET (2014).

O gráfico a seguir ilustra o comportamento anual dos regimes de precipitações de algumas capitais das regiões centro-oeste e sudeste, que apresentam semelhança em seus regimes, com períodos de baixa (ou nenhuma) pluviometria, se concentrando de maio a setembro, e com precipitações mais intensas nos períodos de outubro a abril (Figura 7). Dentro deste grupo selecionou-se também uma capital para análise.

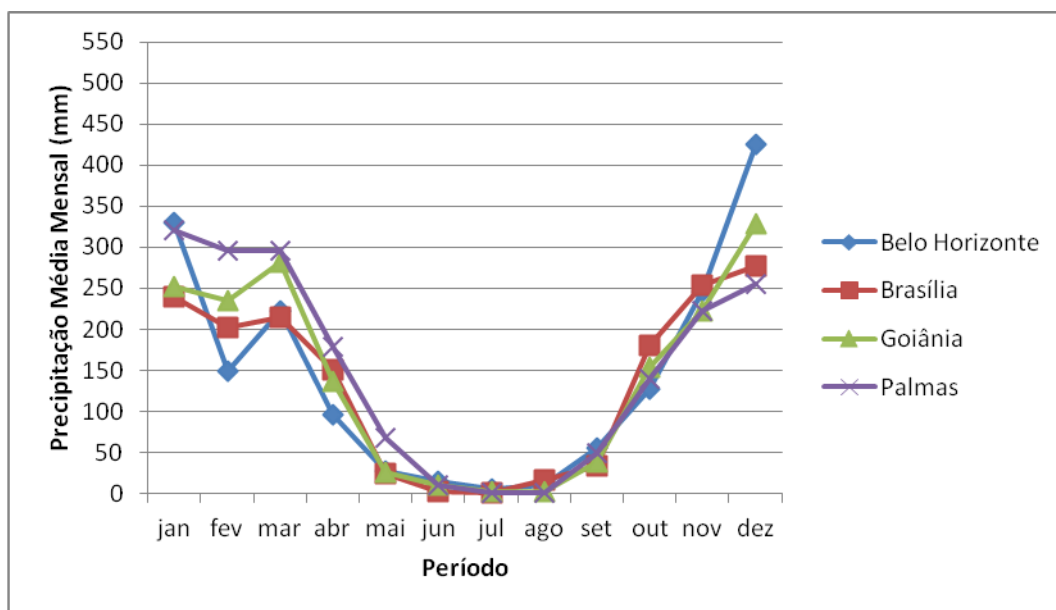


Figura 7 – Precipitações Médias Mensais de Belo Horizonte, Brasília, Goiânia e Palmas.

FONTE: INMET (2014).

A Figura 8 abaixo demonstra o comportamento das precipitações médias mensais das capitais da região sudeste, com a ausência apenas de Belo Horizonte que se encaixou melhor no grupo da Figura 7 anterior. Selecionou-se umas das três capitais para análise.

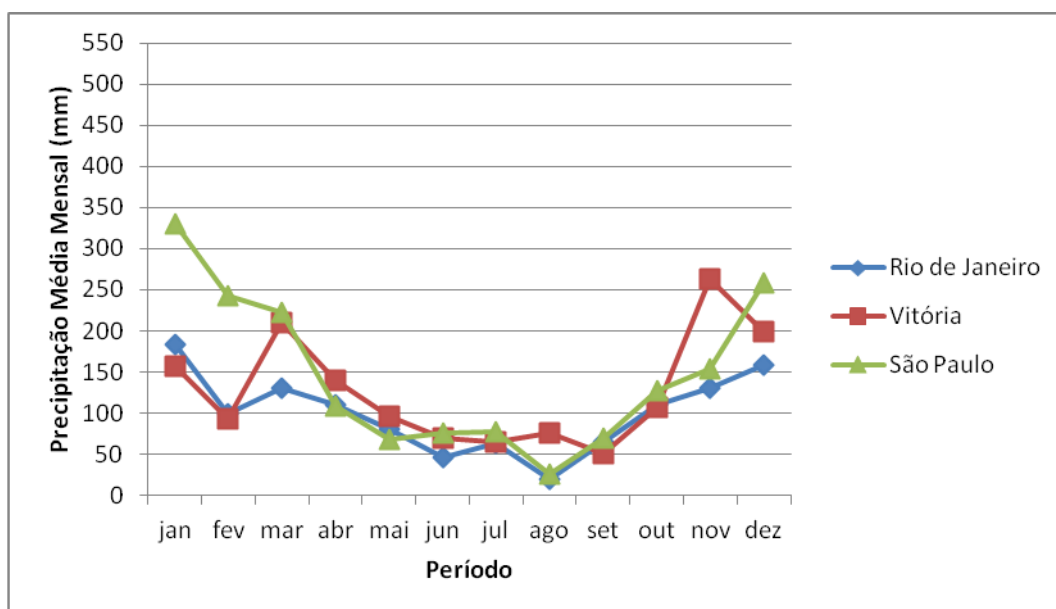


Figura 8 - Precipitações Médias Mensais do Rio de Janeiro, Vitória e São Paulo.

FONTE: INMET (2014).

O gráfico abaixo (Figura 9) apresenta o comportamento anual das precipitações médias nas seguintes capitais: Teresina, São Luís e Fortaleza. As seguintes capitais apresentam seus picos de precipitação no mês de abril. São Luís e Fortaleza apresentam valores de precipitação menores que 50mm compreendidos entre os meses de agosto e dezembro, enquanto que Teresina apresenta um período maior de baixas precipitações médias, de maio a novembro. Neste quarto grupo optou-se por eleger, para o estudo, duas capitais.

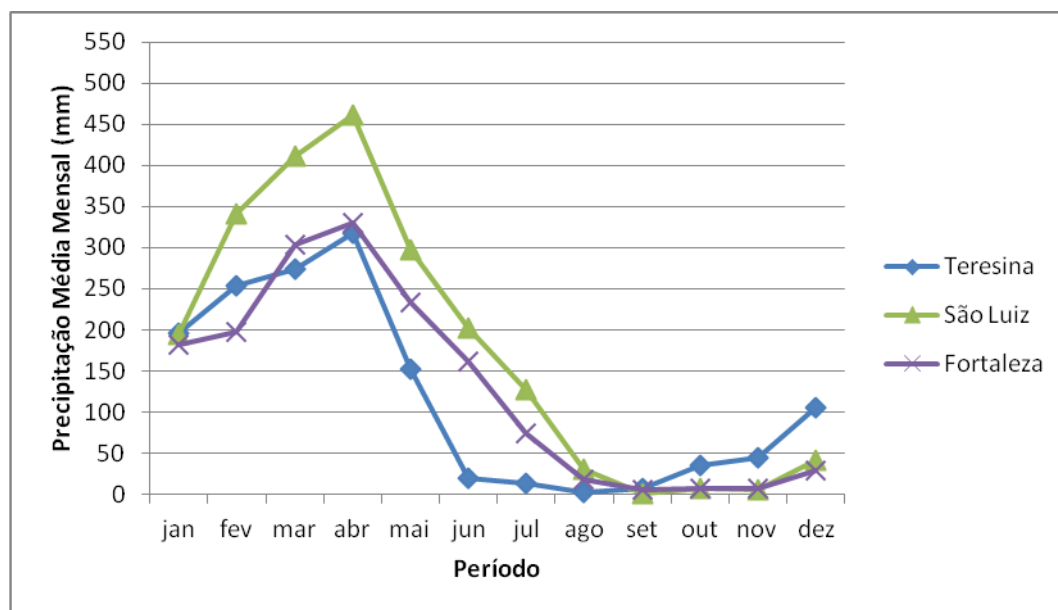


Figura 9 - Precipitações Médias Mensais de Teresina, São Luís e Fortaleza.

FONTE: INMET (2014).

As capitais presentes no quinto grupo (Figura 10) apresentam o pico de precipitações em junho com exceção de Boa Vista, que apresenta pico no mês de maio. A semelhança entre essas capitais é que há um significativo aumento nos valores de suas precipitações médias a partir do mês de março e um significativo decréscimo a partir do mês de junho. Novamente Boa Vista se apresenta um pouco distinta, pois nos meses de junho e julho seus valores médios de precipitação são praticamente constantes, porém nos outros meses o comportamento do regime pluviométrico desta capital apresenta semelhança com as outras capitais do grupo, sendo este o grupo ao que Boa Vista melhor se encaixou. Foram escolhidas duas capitais dentro deste grupo, sendo que algumas delas apresentavam falta de algum dado, dentro da bibliografia utilizada, necessário para a conclusão do estudo e, portanto, foram excluídas da seleção.

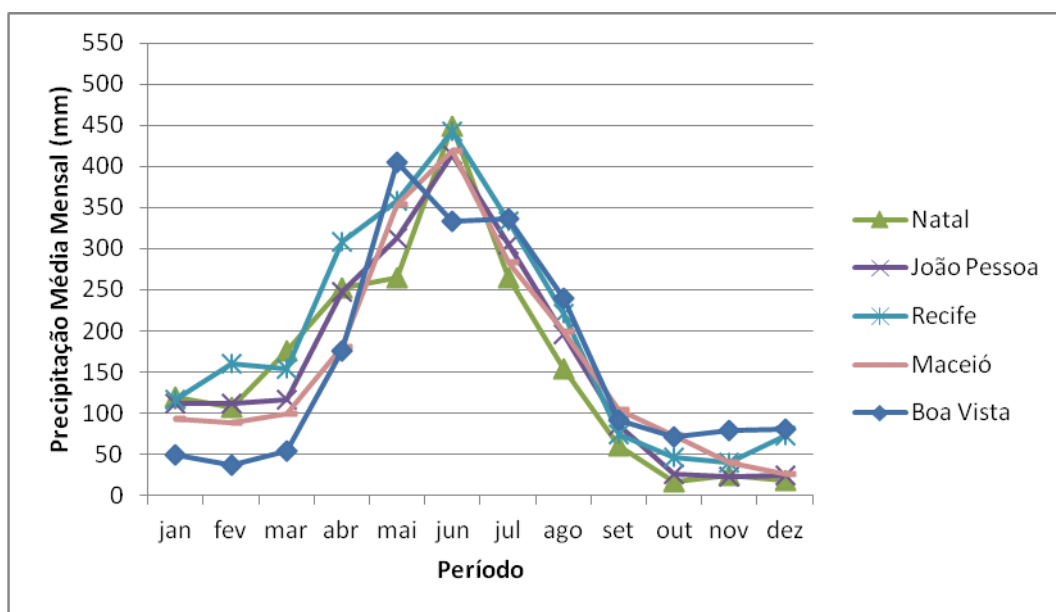


Figura 10 - Precipitações Médias Mensais de Natal, João Pessoa, Recife, Maceió e Boa Vista.

FONTE: INMET (2014).

O último grupo apresenta as capitais cujos regimes pluviométricos não se encaixaram bem em nenhum dos grupos anteriores, sendo elas: Belém, Macapá e Aracajú. Selecionou-se então duas, destas três capitais.

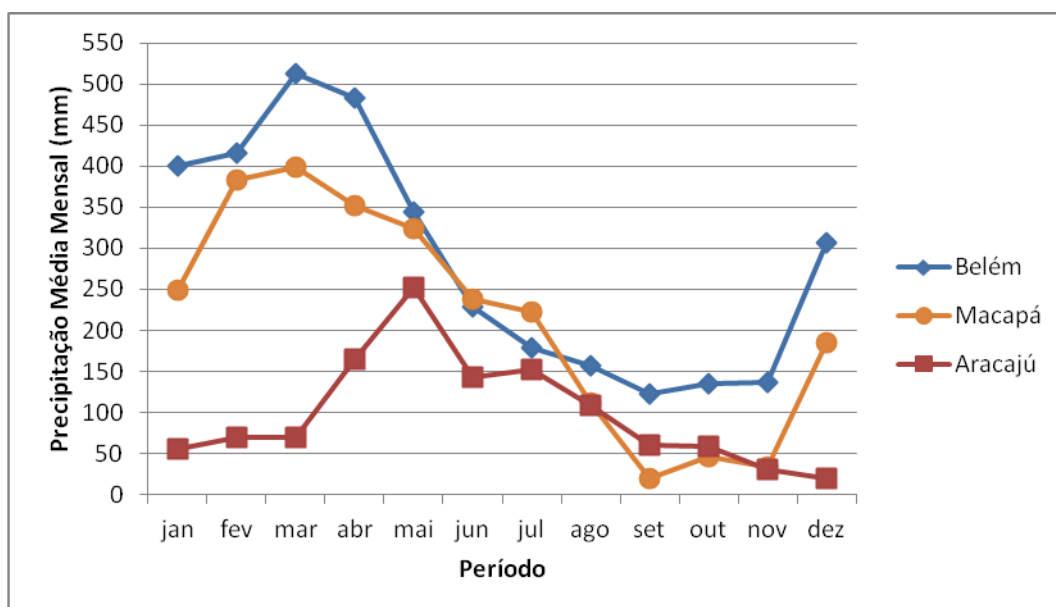


Figura 11 - Precipitações Médias Mensais de Belém, Macapá e Aracajú.

FONTE: INMET (2014).

4.2 SIMULAÇÃO DOS POTENCIAIS DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL E DOS VOLUMES ÚTEIS DOS RESERVATÓRIOS INFERIORES

Para a realização da simulação foi utilizado o programa Netuno 3.0, software desenvolvido com o objetivo principal de determinar o potencial de economia de água tratada através da sua substituição por água de chuva em algumas atividades que não requerem necessariamente água potável. O Netuno realiza os cálculos considerando a demanda e a disponibilidade de água pluvial diária. Para que fossem feitos os cálculos foi necessário fazer a determinação de alguns dados de entrada. Estes dados serão apresentados nos subitens a seguir.

4.2.1 Dados de Precipitação

Para o cálculo do volume ideal do reservatório inferior foi utilizada a série histórica de precipitações diárias, obtidas através do BDMEP, de um período de dez anos (de 01/01/2004 a 31/12/2013). Obteve-se a série de cada capital estudada e converteu-se cada arquivo para a extensão xls, os dados foram então carregados no Netuno.

4.2.2 Área de Captação

Optou-se por realizar o estudo da viabilidade da implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais em residência unifamiliar de padrão normal. Segundo a NBR – 12.721/06 esse tipo de residência possui área aproximada de 100m². Considerou-se então o valor de 100m² como sendo a projeção horizontal da cobertura ou telhado da residência, ou seja, a área de captação.

4.2.3 Demanda de Água Potável

A demanda de água potável corresponde ao volume de água potável requerida para utilização, pelos moradores. Este dado foi inserido em litros por habitante por dia. O programa oferece a possibilidade de fornecimento da demanda fixa

ou variável, optou-se pela demanda fixa por considerar-se que em residências unifamiliares a variação no consumo é relativamente pequena ao longo do ano, sendo então a variação, desconsiderada neste estudo. Os dados de demanda foram obtidos através do banco de dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento, o SNIS (2014), adquirindo-se assim os valores médios diários de consumo *per capita* de água para cada capital estudada.

Sabe-se que os valores de consumo *per capita* apresentam grande variação de caso para caso, sendo essa variação influenciada por alguns fatores como clima, características da rede (índice de micromedição, índice de perdas), disponibilidade hídrica e nível econômico da população (VON SPERLING *et al.*, 2002). Porém, por este trabalho não ter como objetivo estudo de caso, optou-se por utilizar os dados de valores médios diários de consumo *per capita* fornecidos pelo SNIS, pois acredita-se serem os dados mais próximos da realidade de cada uma das capitais aqui estudadas.

4.2.4 Número de Moradores

O número de moradores é um dos parâmetros utilizados pelo software para a realização do cálculo da demanda diária total de água potável da residência e se refere ao número total de moradores. Neste trabalho optou-se pela utilização dos dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE do censo demográfico de 2010. Utilizou-se então, o número médio de moradores por domicílio, específico para cada capital estudada. Para adequação ao programa Netuno que não aceita, nesse dado, casas decimais, fez-se o arredondamento.

4.2.5 Porcentagem de água potável a ser substituída por pluvial

A porcentagem de água potável a ser substituída por pluvial foi determinada através de uma pesquisa sobre a porcentagem estimada de água potável que é requerida em diferentes usos nas residências brasileiras (Figura 12). Realizou-se então a separação das atividades que requerem obrigatoriamente água potável daquelas em que admitem a substituição por uma água com qualidade inferior, tendo como referencia a distribuição do consumo de água em residências brasileiras apresentado por Tomaz (2003).

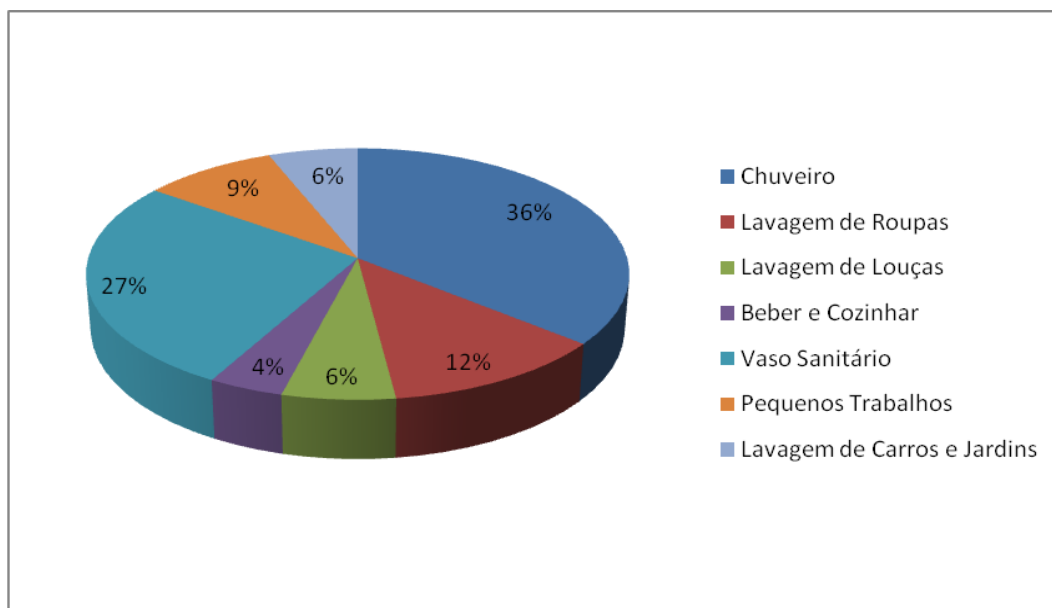


Figura 12 – Distribuição do consumo de água potável em residências brasileiras

FONTE: (Adaptado de TOMAZ, 2003).

4.2.6 Coeficiente de Aproveitamento

Este dado de entrada é um número que deve ser maior que zero e menor ou igual a um, e representa a porcentagem do volume total de água de chuva disponível que pode ser aproveitado, após considerados o descarte dos primeiros milímetros de chuva e as perdas por absorção e evaporação que ocorrem quando a água entra em contato com a superfície de captação. Considerou-se um total de perdas de 20%, portando o coeficiente de aproveitamento assumido foi de 0,8 (GHISI, 2011).

4.2.7 Volume do Reservatório Superior

Decidiu-se por realizar o estudo considerando que o sistema será provido de um reservatório superior com volume igual à demanda diária de água pluvial. O cálculo da demanda diária foi realizado para cada um dos casos estudados, porém tomou-se o cuidado de utilizar reservatórios com volume comercial imediatamente superior ao calculado e optou-se por reservatórios fabricados em polietileno.

O cálculo da demanda diária de água pluvial foi realizada através da Equação 1, disponibilizada pelo próprio programa. Porém ao ajustar o volume do

reservatório para um valor comercial teve-se que optar, no Netuno, por entrar com o volume desejado. Assim sendo, os dados de entrada neste caso foram volumes comerciais imediatamente superiores aos resultantes na Equação 4.1.

$$\text{VRSUP} = \text{Psub} \times \text{D} \times \text{n} \quad (4.1)$$

Onde:

VRSP = volume do reservatório superior;

Psub = a percentagem de água potável que pode ser substituída por pluvial;

D = a demanda diária *per capita* de água potável;

n = o número de moradores ou usuários da edificação.

4.2.8 Volumes do Reservatório Inferior

Neste caso o programa computacional ofereceu a opção de cálculo para volumes distintos de reservatórios analisando um intervalo de volumes. Determinou-se então, o volume máximo desejado do reservatório (25.000 litros), e escolheu-se um valor de intervalo para a simulação dos volumes (500 litros). Optou-se por reservatórios fabricados em fibra de vidro que segundo o catálogo analisado é resistente à exposição ao calor e ao sol.

O programa calculou então o potencial de economia de água potável para cada volume do intervalo de análise escolhido e mostrou os resultados em forma gráfica. Gerou-se também uma planilha em formato xls contendo, para cada volume de reservatório analisado, o potencial de economia, o volume de água pluvial total consumido, o volume anual extravasado e o percentual de dias que a demanda da diária de água pluvial é atendida total, parcial ou não é atendida.

4.2.8.1 Volume Ideal do Reservatório Inferior

O Netuno possibilita a determinação de um volume ideal para o reservatório inferior, que consiste em um volume onde o acréscimo no potencial de economia do

volume subsequente é igual ou inferior ao intervalo entre potenciais de economia de água potável adotado, neste caso utilizou-se 0,5%, conforme trabalho do Ghisi (2008), para 7 capitais, nos casos de Goiânia e Teresina não foi possível utilizar esse valor, pois apresentou falha no modelo, então aumentou-se gradativamente de 0,1% em 0,1% até que o Netuno conseguisse fazer o cálculo. Para Teresina e Goiânia foi utilizado então, o valor de 0,7% de diferença entre potenciais de economia.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CAPITAIS ESTUDADAS

Foram escolhidas como objetos de estudo nove capitais brasileiras, sendo elas: Aracaju, Belém, Curitiba, Goiânia, Maceió, Natal, São Luís, Teresina e Vitória. As precipitações acumuladas de cada uma dessas capitais estão apresentadas na Figura 13. Pode ser observado que a cidade de Belém apresenta valor médio de precipitação acumulada bem superior às outras capitais, sendo a capital brasileira com maior volume médio acumulado. Já Aracaju apresenta apenas cerca de 35,6% do que chove anualmente em Belém, sendo a capital com índice pluviométrico anual mais baixo de todas as capitais brasileiras. Outra observação importante que pode ser destacada a respeito da Figura 13 é a semelhança entre as cidades de Curitiba, Maceió e Goiânia, apresentando todas, precipitações médias acumuladas bem próximas, na casa dos 1.600mm por ano.

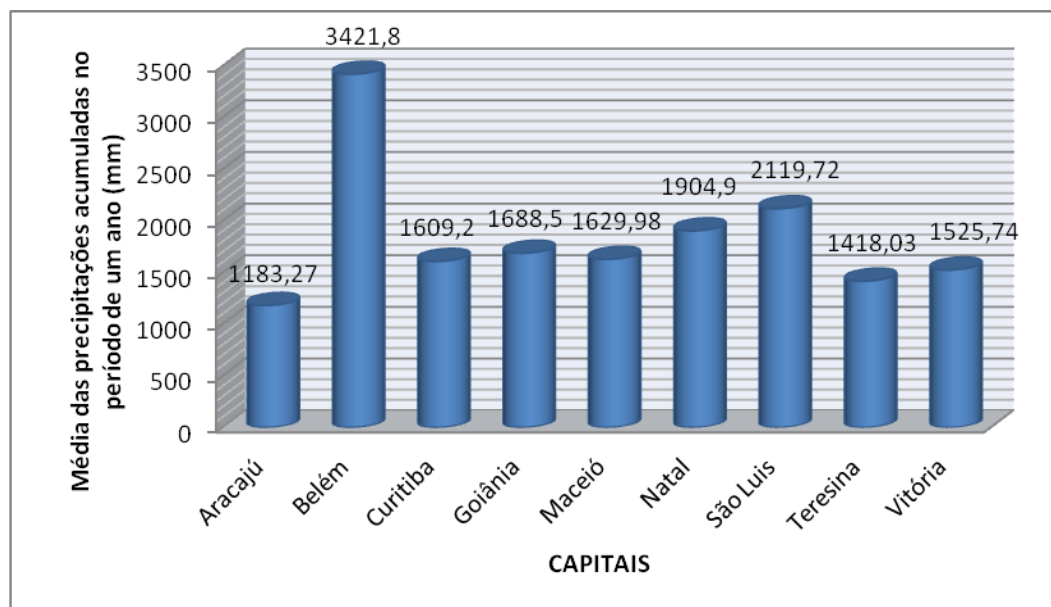
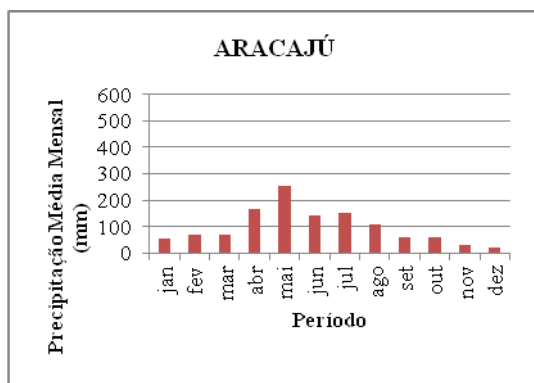


Figura 13 – Médias das Precipitações acumuladas no período de um ano.

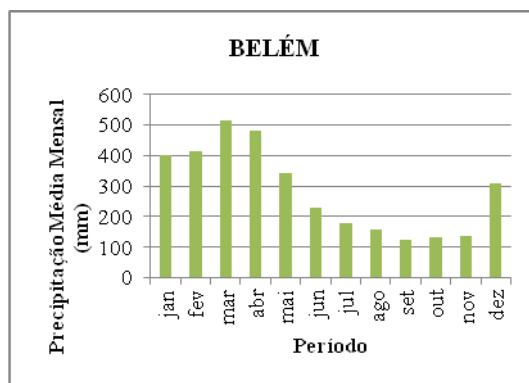
FONTE: INMET (2014).

Os regimes pluviométricos de cada capital estudada estão apresentados na Figura 14, onde pode ser observado o comportamento de cada um ao longo do ano. Observa-se que Aracajú, Curitiba e Vitória apresentam um regime quase constante, com alguns meses de pico, porém, na maior parte do ano, as precipitações apresentam valores entre 0 e 200mm, uma variação que pode ser considerada pequena quando comparadas às outras capitais.

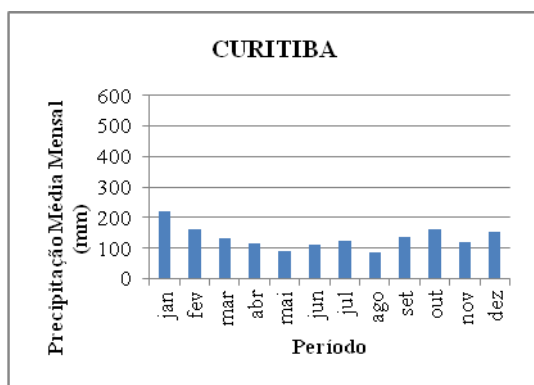
Pode-se observar também na Figura 14 que algumas capitais apresentam grandes períodos de estiagem, como é o caso de Goiânia e São Luís, com praticamente cinco meses e Teresina, com praticamente seis meses de precipitação com valores muito baixos ou sem nenhuma precipitação. Mesmo Goiânia e São Luís apresentando semelhança na quantidade de meses de estiagem, pode ser observado na Figura 13 que há uma diferença de aproximadamente 430mm no valor de precipitações acumuladas de uma para outra. Já quando se compara Goiânia, Curitiba e Maceió que possuem valores médios próximos (Figura 13) verifica-se a diferença no comportamento de seus regimes durante o ano.



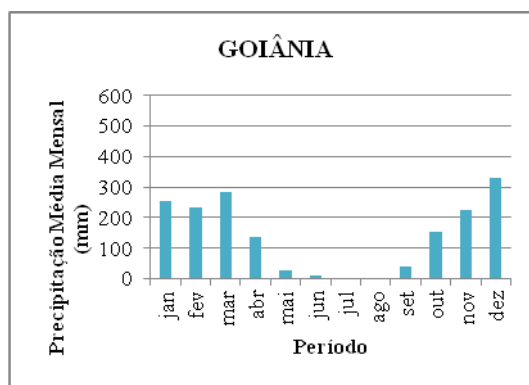
(a) Aracaju.



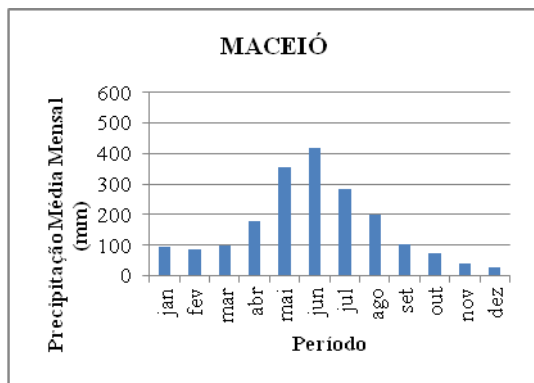
(b) Belém.



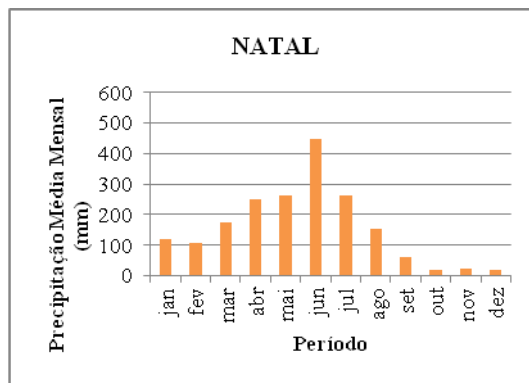
(c) Curitiba.



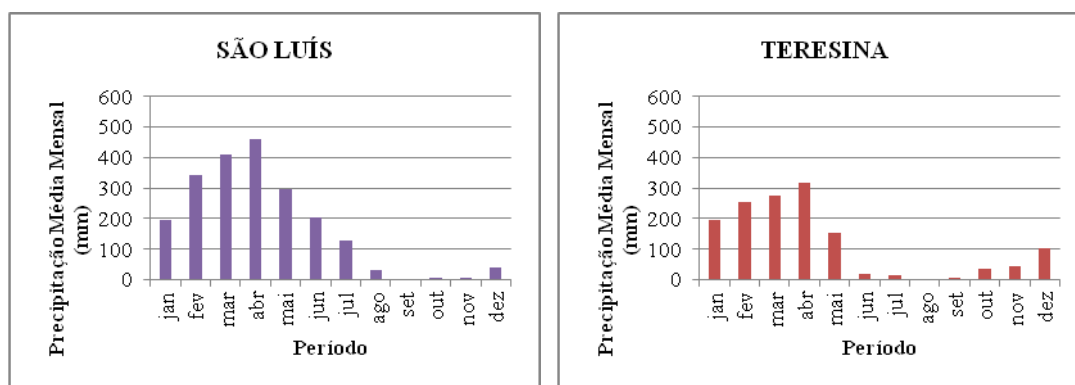
(d) Goiânia.



(e) Maceió.

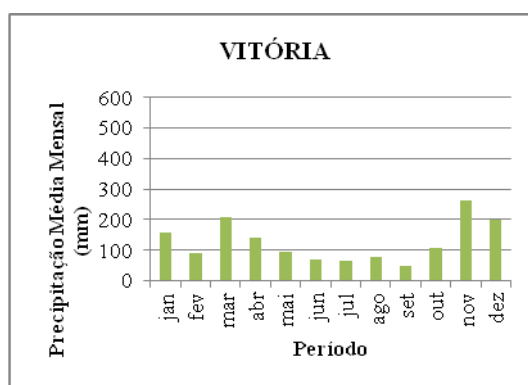


(f) Natal.



(g) São Luís.

(h) Teresina.



(i) Vitória.

Figura 14 – Regimes pluviométricos das capitais analisadas.

FONTE: INMET (2014).

5.2 SIMULAÇÃO DOS POTENCIAIS DE ECONOMIA DE ÁGUA POTÁVEL E DOS VOLUMES ÚTEIS DOS RESERVATÓRIOS INFERIORES

5.2.1 Demanda de Água Potável

Os consumos médios *per capita* obtidos no banco de dados do SNIS e utilizados como dados de entrada são apresentados na Tabela 2 abaixo. Pode-se observar que São Luís apresenta maior consumo médio *per capita* com quase 400 litros por habitante por dia. Vitória vem em segundo lugar com 254,4 litros por habitante por dia. Maceió apresenta o menor valor de consumo *per capita* de todas as cidades analisadas com 80,1 l/hab.dia

Tabela 2 – Consumo médio de água potável em litros por habitante por dia.

| Capitais | Aracajú | Belém | Curitiba | Goiânia | Maceió | Natal | São Luís | Teresina | Vitória |
|---------------------------------------|---------|-------|----------|---------|--------|-------|----------|----------|---------|
| Consumo <i>Per Capita</i> (l/hab.dia) | 173,2 | 141,3 | 167,2 | 170,8 | 80,1 | 129,9 | 398,6 | 150,4 | 254,4 |

FONTE: SNIS (2014).

5.2.2 Número de Moradores

Os números médios de pessoas por residência utilizados na realização do estudo estão descritos na Tabela 3 abaixo. Pode-se observar que, das nove capitais estudadas, apenas três apresentaram média de número de moradores por residência maior (quatro), sendo duas delas da região norte do país (Belém e São Luís). Teresina faz parte da região nordeste, porém está bem na divisa com região Norte. As outras capitais das regiões Nordeste, as do Sul e as do Centro-oeste apresentaram média de 3 (três) moradores por habitação.

Tabela 3 – Número médio de pessoas por habitação, calculados no Censo de 2010.

| Capitais | Aracajú | Belém | Curitiba | Goiânia | Maceió | Natal | São Luís | Teresina | Vitória |
|--------------------------------|---------|-------|----------|---------|--------|-------|----------|----------|---------|
| Média de pessoas por domicílio | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | 3 |

FONTE: IBGE (2014).

5.2.3 Porcentagem de água potável a ser substituída por pluvial

Após realizar a separação das atividades que requerem obrigatoriamente água potável daquelas em que admitem a substituição por uma água com qualidade inferior, foi observado que aproximadamente 45% da água potável pode ser substituída por água de chuva. As atividades foram separadas em um grupo de consumo potável e um grupo de consumo não potável de acordo com o que sugere o trabalho de Pereira *et al.* (2008) e são apresentadas na Tabela 4 que segue.

Tabela 4 – Usos da água em residências brasileiras.

| Consumo não-potável | | Consumo potável | |
|-----------------------------|------------|--------------------|------------|
| Lavagem de Roupas | 12% | Chuveiro | 36% |
| | | | (Continua) |
| Vaso Sanitário | 27% | Lavagem de Louças | 6% |
| Lavagem de Carros e Jardins | 6% | Beber e Cozinhar | 4% |
| - | - | Pequenos Trabalhos | 9% |
| TOTAL | 45% | TOTAL | 55% |

FONTE: Adaptado de PEREIRA et al. (2008).

5.2.4 Volume do Reservatório Superior

Os volumes obtidos através da Equação 4.1, citada no item 4.2.7, são apresentados na Tabela 5 abaixo, seguidos de seus respectivos volumes comerciais com valores imediatamente superiores. Nota-se que São Luís apresenta o maior volume, devido ao seu alto valor de consumo de água *per capita* e ao número de moradores por habitação. Vitória também apresentou um volume mais elevado, de 500 litros, influenciado principalmente, pelo alto consumo *per capita* de água. Cinco das nove capitais resultaram em volumes comerciais de reservatório de 250 litros. Maceió foi a capital que apresentou menor volume de reservatório superior, apenas 150 litros.

Tabela 5 – Volumes comerciais dos reservatórios superiores.

| Capitais | Reservatório Superior (demanda diária em litros) | Reservatório Superior (volume comercial em litros) |
|----------|--|--|
| Aracajú | 263,4 | 310 |
| Belém | 239,7 | 250 |
| Curitiba | 227,2 | 250 |
| Goiânia | 236,0 | 250 |
| Maceió | 122,2 | 150 |
| Natal | 199,9 | 250 |
| São Luís | 652,9 | 750 |
| Teresina | 246,4 | 250 |
| Vitória | 344,6 | 500 |

FONTE: FORTLEV, 2014.

5.2.6 Volumes do Reservatório Inferior

Os potenciais de economia de água potável para cada volume do intervalo de análise escolhido foram calculados e os resultados, em forma gráfica, são apresentados a seguir nas Figuras 15 a 23.

A Figura 15 abaixo indica a curva, potencial de economia x volume do reservatório inferior, para a cidade de Aracajú. Observou-se que a curva apresenta um momento inicial com característica parabólica e, aparentemente, a partir do volume de 4.000 litros a curva assume a forma de uma reta com um ângulo significativo, o que indica que, com aumento do volume do reservatório, há um aumento significativo no potencial de economia de água potável. O potencial máximo calculado para Aracajú foi de 40,05%.

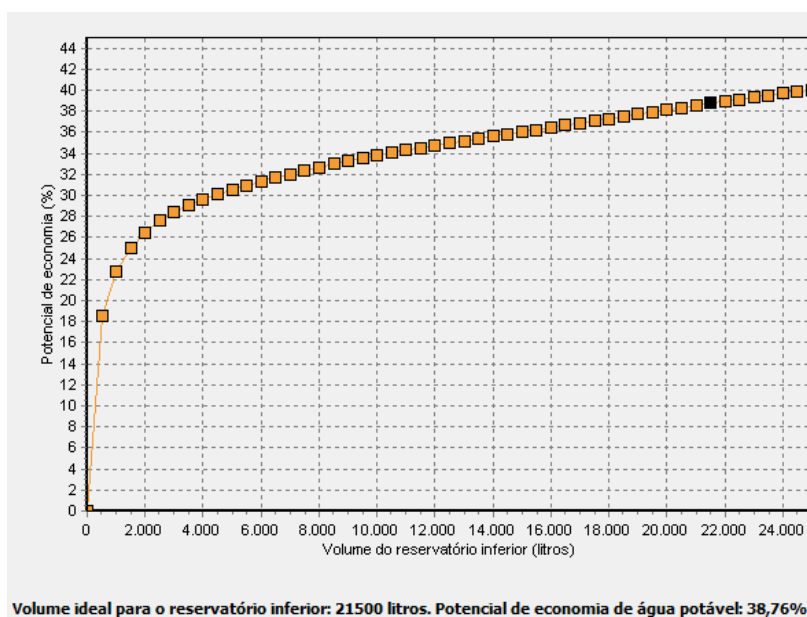


Figura 15 – Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Aracajú.

O gráfico a seguir representa a cidade de Belém (Figura 16). Ao contrário de Aracajú, que apresentou para o primeiro volume calculado, um aumento de 18,61% no potencial de economia, Belém apresentou um aumento de 32,67% neste mesmo intervalo. Analisando o gráfico, Belém também apresentou uma característica parabólica, até o volume de 6.500 litros, aparentemente, no primeiro momento da curva.

Após esse momento a curva assumiu um comportamento constante, não sendo alterado o potencial de economia de água (44,16%).

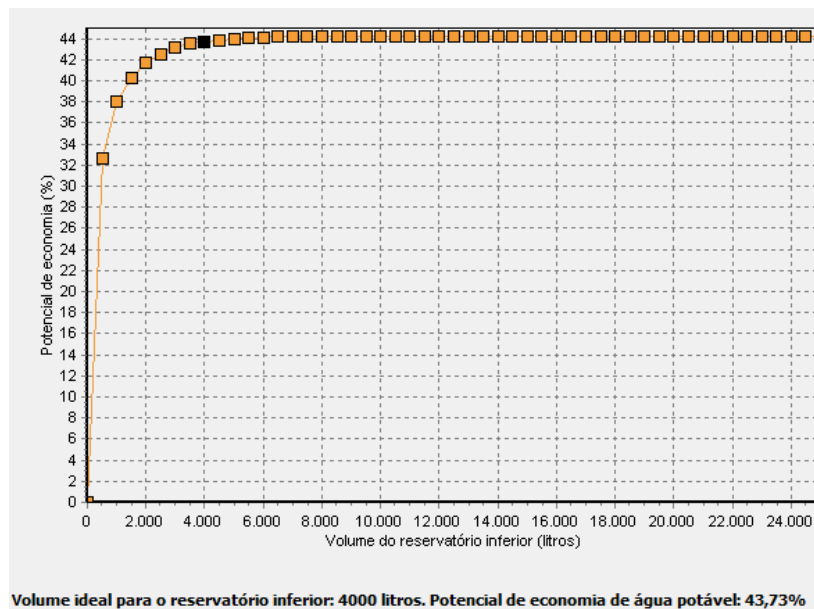


Figura 16 – Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Belém.

Analisando a Figura 17 abaixo, verifica-se que para o volume inicial de 500 litros, a cidade de Curitiba apresenta similaridade com Aracajú, pois o aumento é bem próximo ao da outra capital, 20%, porém o aumento no valor do potencial de economia, no primeiro instante da curva, característica parabólica, da cidade de Curitiba se mostra bem maior que o da cidade de Aracajú. Num segundo instante, aparentemente, a curva assume uma forma linear, com um ângulo bem pequeno, tendo ainda um terceiro instante, a partir do volume de 22.000 litros, em que a curva assume um comportamento constante com potencial de economia de 44,9%.

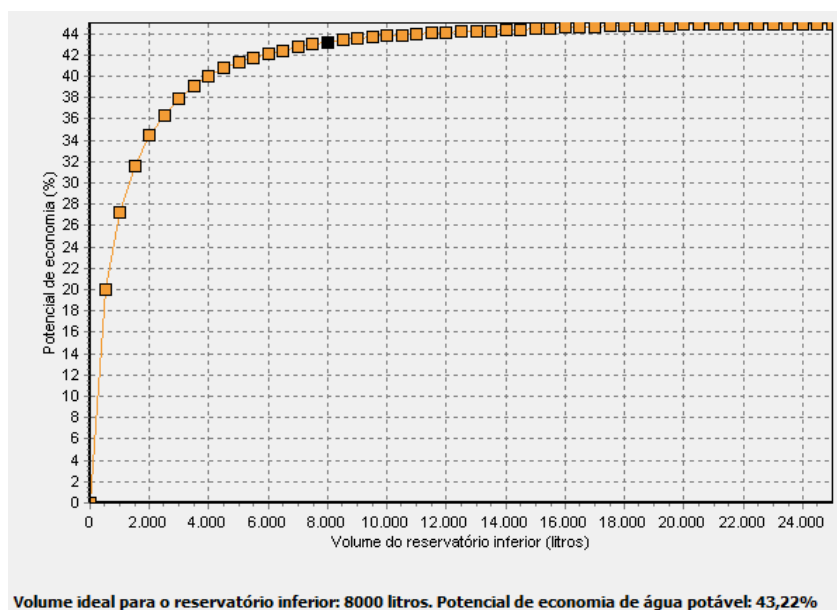


Figura 17 – Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Curitiba.

A curva de Goiânia (Figura 18) apresentou, para o primeiro volume calculado (500 litros), comportamento semelhante ao de Curitiba e Aracajú, com potencial de economia de 18,88%. A Curva apresentou também, dois momentos, o primeiro com característica parabólica e o segundo com uma característica mais linear, podendo ser observado que neste segundo momento o ângulo é maior que o de Aracajú, ou seja, a diferença entre o potencial calculado para o primeiro volume de reservatório dessa seção da curva, e o potencial calculado para o último volume da seção é maior que a diferença apresentada no gráfico de Aracajú.

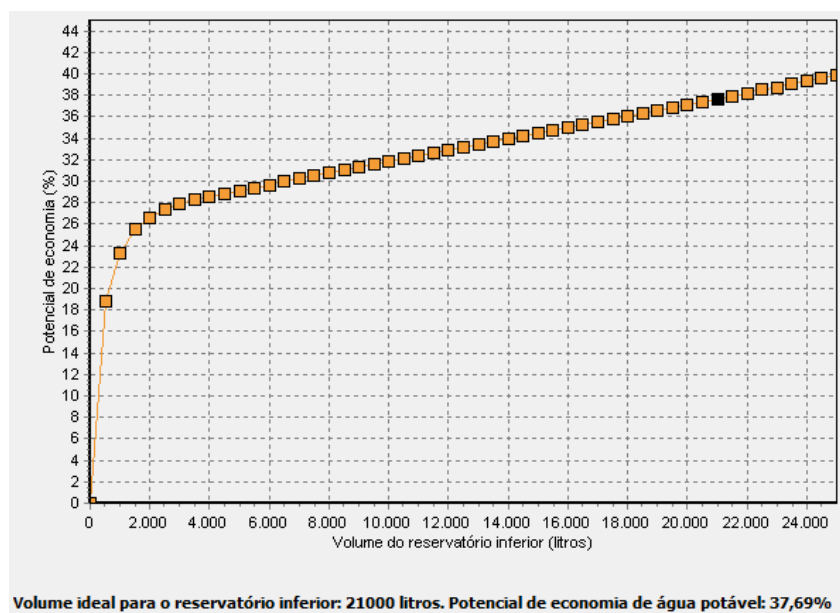


Figura 18 – Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Goiânia.

Ao ser observada a curva abaixo, verifica-se a similitude com a curva resultante para a cidade de Belém, sendo que para o volume de 500 litros o aumento no percentual do potencial de economia de água potável para a cidade de Maceió, foi de 31,66%, bem próximo ao apresentado no gráfico de Belém. A partir de 10.500 litros, a curva assume um comportamento constante – assim como Belém - não variando o potencial de economia. O potencial máximo de economia determinado foi de 44,91% (Figura 19).

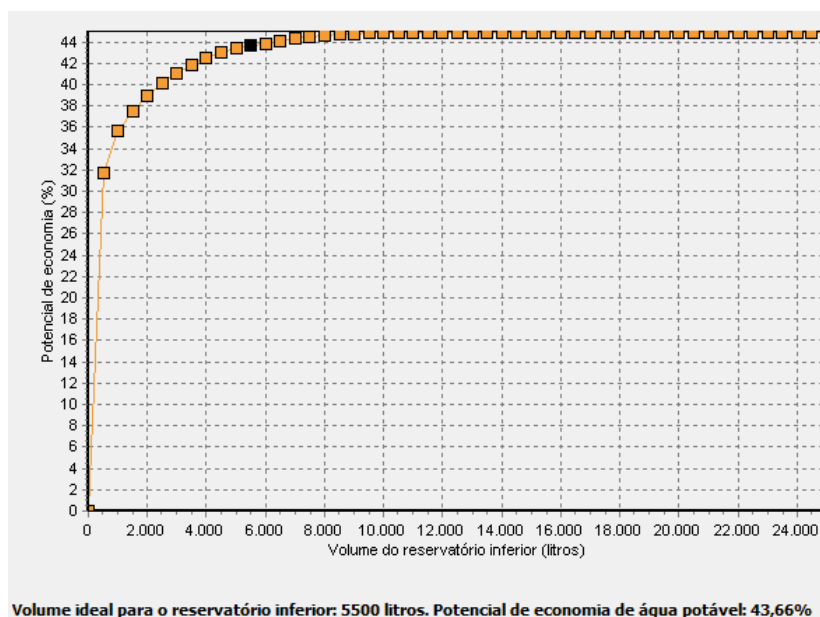


Figura 19 – Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Maceió.

Observa-se que a curva resultante para a cidade de Natal (Figura 20) apresenta um comportamento quase que integralmente característica parabólica, com apenas alguns pequenos trechos lineares, onde a diferença de potencial é constante de um volume para outro, diferente de todas as capitais analisadas anteriormente. O potencial máximo observado para Natal foi de 44,4%.

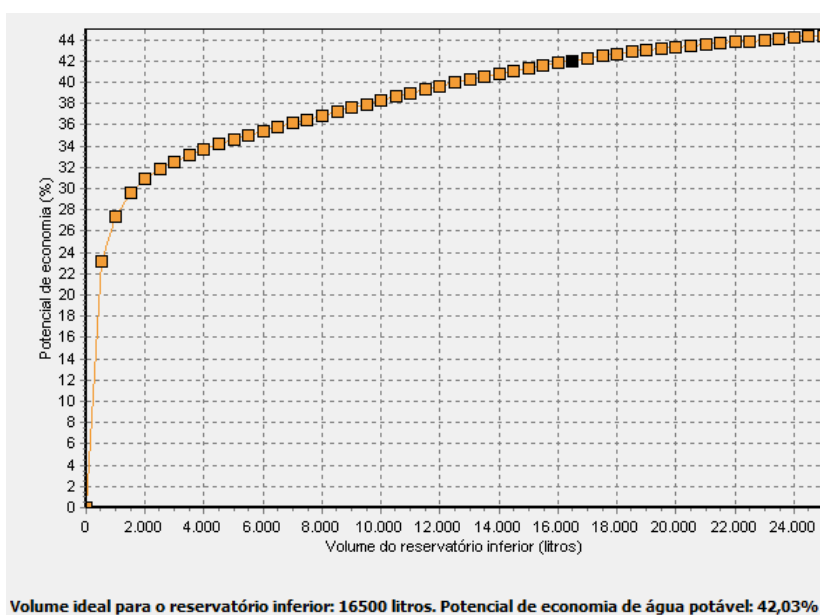


Figura 20 – Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Natal.

A Figura 21 abaixo representa o gráfico de São Luís. Para o volume de 500 litros do reservatório inferior, observa-se o menor potencial de economia analisado, apenas 8,38%. A curva de São Luís, semelhante a algumas outras capitais estudadas, apresenta dois momentos: o primeiro apresentando um formato parabólico característico, e o segundo apresentando uma reta com um pequeno ângulo de inclinação.

A Capital São Luís apresentou também o potencial de economia máximo (23,68%), mais baixo de todas as capitais analisadas, confirmando a forte influência exercida pelo regime pluviométrico, pelo consumo médio de água *per capita* e pelo número de moradores por residência. Porque, apesar de a capital apresentar o segundo maior volume acumulado de precipitações, as mesmas não são bem distribuídas, tendo, a capital, quase cinco meses de estiagem. Além disso, São Luís apresenta o maior consumo *per capita* e um dos maiores números médios de moradores por habitação.

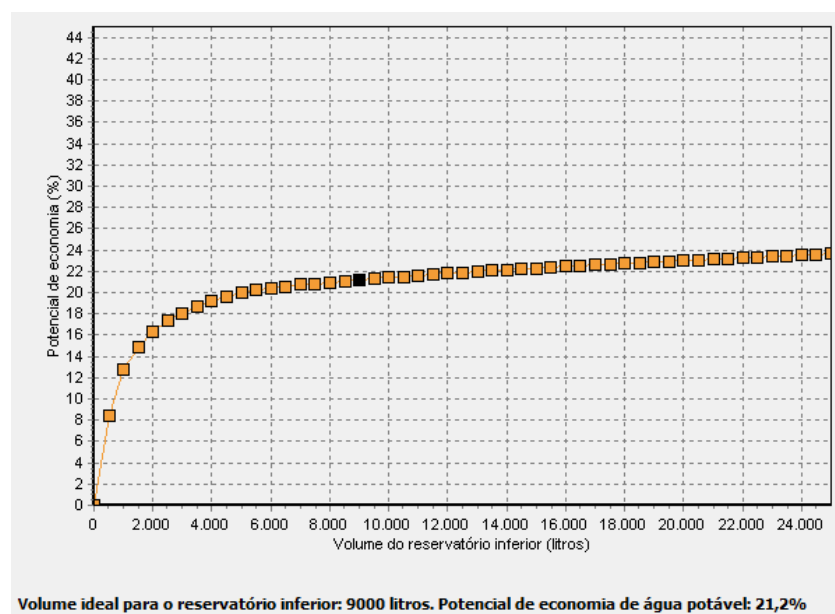


Figura 21 – Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para São Luís.

Teresina, assim como São Luís, apresenta, no momento inicial da curva (Figura 22), um valor baixo de potencial de economia, porém, no segundo momento da curva, quando a mesma assume uma característica linear crescente, pode-se observar o aumento significativo do potencial de economia, chegando ao potencial máximo de economia com o valor de 32,2%. Teresina apresenta o segundo menor potencial

máximo de economia dos modelos analisados, pois assim como São Luís, apresenta um grande período de estiagem, aproximadamente, com médias mensais de precipitação menores que 50mm. No entanto, o consumo médio de água potável *per capita* da capital se apresenta entre os menores bem como a média de moradores por habitação.

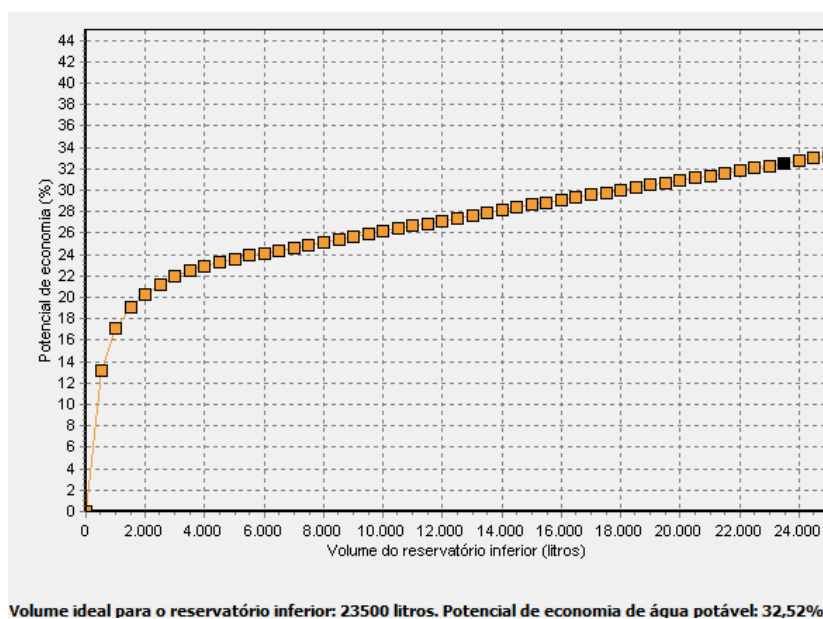


Figura 22 – Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Teresina.

Na Figura 23 abaixo, observa-se que a curva da cidade de Vitória, apresenta semelhança com a cidade de Natal, pois a curva apresenta, em sua maioria, comportamento de parábola. Possui um potencial baixo num primeiro instante, assim como Teresina e São Luís e tem um aumento significativo desse potencial conforme o volume do reservatório assume valores maiores, assim como algumas outras capitais analisadas. É a terceira capital com menor potencial máximo de economia (38,37%), mais uma vez reforçando a influencia do regime de precipitações, com a terceira menor média de precipitações acumuladas, e também, a influência do consumo médio *per capita*, sendo o segundo maior dentre os analisados.

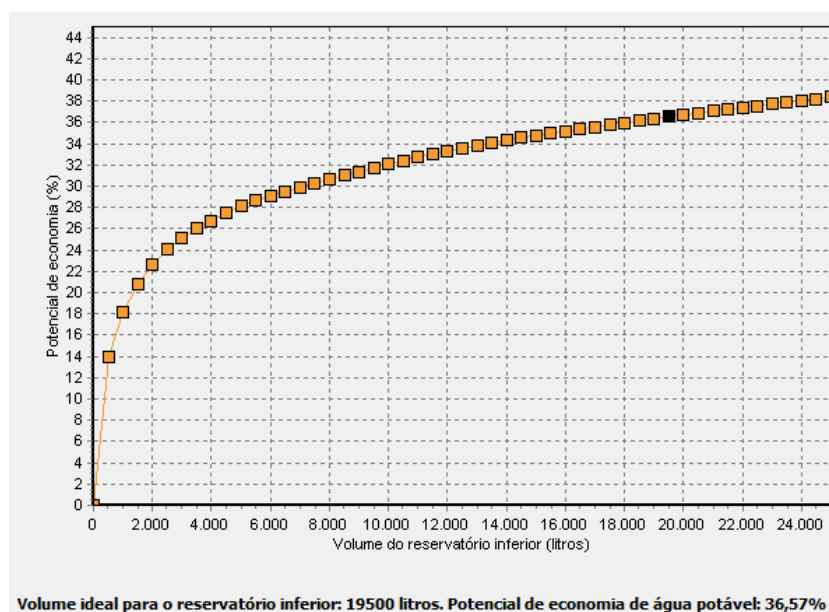


Figura 23 – Curva de potenciais de economia de água potável (%) e seus respectivos volumes de reservatório inferior (litros) para Vitória.

5.2.6.1 Volume Ideal do Reservatório Inferior

O volume ideal é indicado, quando o potencial de economia de água potável calculado para o reservatório imediatamente posterior, resulta um aumento menor ou igual à diferença de potencial adotada no item 4.2.8.1 da metodologia.

Um volume ideal para o reservatório inferior foi indicado pelo Netuno bem como seus respectivos valores de potencial de economia, volume de água pluvial total consumido, volume anual extravasado e percentual de dias que a demanda da diária de água pluvial é atendida totalmente, parcialmente ou não é atendida. Os resultados são apresentados a seguir na Tabela 6.

Nota-se que, principalmente, o regime das precipitações e o consumo médio de água potável *per capita*, influenciam significativamente os resultados obtidos. Pode-se observar a grande variação no volume ideal do reservatório inferior, nas diferentes capitais, sendo o menor volume indicado para a cidade de Belém (4.000 litros) e o maior volume indicado para a cidade de Teresina (23.500 litros). As características de cada uma que levaram a esse resultado são: Belém possui uma melhor distribuição de chuvas durante o ano, enquanto que Teresina possui longos períodos de estiagem; Teresina possui a média de precipitações acumuladas cerca de 60% menor que a de

Belém; e um habitante em Teresina consome cerca de 10 litros a mais que um habitante em Belém. Outra observação sobre as duas capitais é a respeito dos dias em que a demanda de água de chuva é atendida totalmente, sendo que o modelo retornou valor zero nas duas situações, indicando que em nenhum dia do ano o sistema conseguirá atender completamente a demanda. A diferença entre as duas capitais novamente se faz presente quando avaliados os percentuais de atendimento parcial e de falha no atendimento, respectivamente, 99,12% e 0,88% para Belém e 79,02% e 20,98% para Teresina. Sendo que, mesmo com um volume muito superior ao indicado para Belém, o sistema consegue atender parcialmente Teresina, apenas 9,6 meses por ano, aproximadamente.

As capitais que apresentaram maior volume ideal para o reservatório inferior foram também, as que apresentaram menor percentual de economia de água, com exceção de São Luís que apresentou um volume ideal de 9.000 litros com um potencial de economia de 21,2%. Provavelmente os resultados de São Luís estão relacionados ao seu alto índice de moradores por habitação em conjunto com o alto valor médio de consumo de água por habitante por dia e o seu regime de precipitações irregular, com longos períodos de estiagem. Nota-se que o sistema consegue atender a demanda, totalmente, apenas durante, aproximadamente, 5,4 meses. Durante a metade do ano, seis meses, o sistema não supre, de forma alguma, a demanda de água de chuva. Sendo assim, a capital que apresentou, potencialmente, menor viabilidade para a instalação do sistema, quando se analisa a viabilidade, tendo como parâmetro o potencial de economia de água.

Maceió resultou no segundo menor reservatório ao passo que seu potencial de economia foi de 43,66%, o segundo maior. A capital apresentou também o melhor percentual de total atendimento à demanda de água pluvial, com 96,74%, ou seja, em aproximadamente 11,8 meses por ano o sistema consegue abastecer a demanda completamente. Pode-se associar esse resultado positivo da capital com a boa média de precipitações acumuladas, com a distribuição quase regular das precipitações e ao baixo consumo *per capita* de água, o menor de todos os analisados (80,10 l/hab.dia).

Tabela 6 – Resultados indicados para o volume ideal de cada uma das capitais.

| Capitais | Volume (Litros) | Economia de Água Potável (%) | Volume de Água Pluvial Extravasado (Litros) | Volume Consumido de Água Pluvial (Litros) | Dias em que a Demanda de Água Pluvial é Atendida Totalmente (%) | Dias em que a Demanda de Água Pluvial é Atendida Parcialmente (%) | Dias em que a Demanda de Água Pluvial Não é Atendida (%) | Diferença entre potenciais de economia |
|----------|-----------------|------------------------------|---|---|---|---|--|--|
| Aracajú | 21500 | 38,76 | 18007,87 | 73513,13 | 84,86 | 2,44 | 12,71 | 0,21 |
| Belém | 4000 | 43,73 | 181558,26 | 90212,28 | 0 | 99,12 | 0,88 | 0,23 |
| Curitiba | 8000 | 43,22 | 47802,84 | 79137,24 | 95,45 | 1,1 | 3,45 | 0,24 |
| Goiânia | 21000 | 37,69 | 61581,61 | 70481,35 | 83,27 | 0,96 | 15,77 | 0,27 |
| Maceió | 5500 | 43,66 | 122187,56 | 38296,33 | 96,74 | 0,41 | 2,85 | 0,25 |
| Natal | 16500 | 42,03 | 90150,99 | 59787,49 | 93,05 | 0,66 | 6,3 | 0,21 |
| São Luís | 9000 | 21,2 | 44952,31 | 123403,44 | 44,19 | 6,43 | 49,37 | 0,11 |
| Teresina | 23500 | 32,52 | 41213,87 | 71400,69 | 0 | 79,02 | 20,98 | 0,23 |
| Vitória | 19500 | 36,57 | 18974,33 | 101866,18 | 79,26 | 3,62 | 17,12 | 0,19 |

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Analisando os resultados verifica-se que oito das nove capitais avaliadas apresentam potenciais de economia de água potável com valores acima de 70% do valor máximo de economia estabelecido nesse trabalho (45%), constata-se que a maior parte das capitais analisadas possui potencial de viabilidade satisfatório quando da implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva. Nota-se também a grande influência dos regimes de precipitação e das demandas de água potável na determinação dos resultados, pois as capitais que apresentaram menor potencial de economia possuem grandes períodos de estiagem e/ou altos valores de consumo de água.

Sobre a influência dos regimes de foi constatado que lugares onde as precipitações são regulares a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva é mais viável que em lugares que possuem grande variabilidade de precipitações ao longo do ano, mesmo que neste local o volume acumulado durante o ano seja significativo. Observa-se que em Belém e Curitiba os volumes ideais indicados são relativamente pequenos, 4.000 e 8.000 respectivamente, enquanto que seus valores de seus potenciais de economia de água resultantes ficaram entre os maiores diante das outras capitais estudadas.

Com relação à influência exercida sobre a demanda de água potável observou-se que, analisadas duas capitais com regimes semelhantes como Maceió e Natal, quanto menor a demanda menor o volume do reservatório inferior, ou seja, a demanda de água influencia diretamente no resultado dos volumes dos reservatórios, elementos mais caros do sistema de aproveitamento de água.

Ao longo da realização do estudo foram identificadas algumas dificuldades limitantes para o desenvolvimento como:

- ✓ A ausência, de dados de precipitações em algumas capitais, impossibilitando o estudo da viabilidade para essas;

- ✓ A falta de dados mais específicos de demanda de água potável para cada capital, pois sabe-se que os valores médios de consumo diário *per capita* inclui, por exemplo, as perdas do sistema de abastecimento, o que varia bastante de uma capital para outra;
- ✓ A insuficiência de informação para a determinação do intervalo entre potenciais de economia que deve ser adotado no programa Netuno para a determinação do volume ideal do reservatório inferior.

Apesar dos resultados positivos, com a maioria das capitais apresentando condições favoráveis para a implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais, uma análise considerando a viabilidade econômica seria relevante para a determinação da taxa mínima de atratividade quando da instalação do sistema de aproveitamento de água pluvial. Assim, novos estudos para analisar o retorno econômico, e o período necessário para que este retorno aconteça, levando em consideração os potenciais de economia de água potável, representaria significativo avanço neste tipo de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844:** Instalações Prediais de Águas Pluviais. Rio de Janeiro, 1989.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12721:** Avaliação de Custos Unitários de Construção para Incorporação Imobiliária e outras Disposições para condomínios edifícios. Rio de Janeiro, 2006.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527:** Água de chuva - Aproveitamento de Coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626:** Instalação Predial de Água Fria. Rio de Janeiro, 1998.
- AMORIM, S. V. de.; PEREIRA, D. J. de A. **Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial.** Ambiente Construído - Revista on-line da ANTAC, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/5359>>. Acesso em: jun. 2013.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil.** Brasília, 2013. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html>. Acesso em abr. 2014.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos.** Brasília, 2001. 2ª Ed. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/arquivos/20061212102729_Introducao_Gerenciamento.pdf>. Acesso em jun. 2013.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Situação Água Mundo.** Brasília, 2005. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/bibliotecavirtual/detalheBusca.asp?cod_registro=2300&categoria=3>. Acesso em jun. 2013.
- ANNECCHINI, K. P. V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória.** 2005. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- BEZERRA, S. M. da C.; CHRISTAN, P. de; TEIXEIRA, C. A.; FARAHBACKHSH, K. **Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva:** comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. Ambiente Construído - Revista on-line da ANTAC, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 219-231, out./dez. 2010. Disponível em: <<http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/13020>>. Acesso: jun. 2013.
- CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução 357/2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: jun. 2013.

- FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **Escassez de Água**. 2014b. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/topics_scarcity.html>. Acesso em: jun. 2014.
- FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **Usos da Água**. 2014a. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use/indexesp.stm>. Acesso em: jun. 2014.
- FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO. **Estimated Word Water Use**. 2008. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/art/2008/wateruse.htm>>. Acesso em: jun. 2014.
- FIESP – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Conservação e Reuso de Água: Manual de Orientações para o Setor Industrial**. São Paulo: FIESP, 2004. v. 1, 90p.
- FORTLEV. Caixa d' água de Polietileno. Disponível em: <<http://www.fortlev.com.br/produto/11/caixa-dagua-de-polietileno>>. Acesso em mai. 2014.
- GHISI, E.; CORDOVA, M. M.; ROCHA, V. L. **Netuno 2.1. Programa computacional**. 2009. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/>> . Acesso: abr. 2014.
- GOMES, G. C.; PAULA, H. M. de. **Análise de qualidade da água de chuva captada de forma direta, aplicações e viabilidade de usos não potáveis para a cidade de Catalão**. Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2010. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/63ra/conpeex/pivic/trabalhos/GEOVANNE.PDF>>. Acesso em jun. 2014.
- GONÇALVES, O. M. Estratégias para redução do impacto da demanda de água nas cidades e edifícios. *In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL*, 2009, São Paulo. Disponível em: <<http://www.cbcs.org.br/sbcs09/palestras/omarracine.pdf>>. Acesso em: abr. 2014.
- HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. 2009. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- HESPANHOL, I. **Potencial de reuso de água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS, v. 7, n.4, p. 75-95, 2002.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. 2014.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Brasília, 2014.
- JAQUES, R. C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. 2005. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

LAGE, E. de S. **Aproveitamento de água pluvial em concessionárias de veículos na cidade de Belo Horizonte:** Potencial de economia de água potável e estudo da viabilidade econômica. 2010. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Construção Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

LEITE, M. A.; SANTOS, G. O.; FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; ZOCOLER, J. L. Análise de parâmetros de água de chuva para irrigação. *In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS NA IRRIGAÇÃO*, 2012, Fortaleza. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/winotec2012/Mauricio/inovagri_meeting_leite_agua.pdf>. Acesso em mai. 2014.

LIMA, J. A.; DAMBROS, M. V. R.; ANTONIO, M. A. P. M. de; JANZEN, J. G.; MARCHETTO, M. **Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v.16, n.3, jul/set 2011, p.291-298.

MARINOSK, A. K.; GHISI, E. **Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino:** estudo de caso em Florianópolis –SC. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 67-84, abr./jun. 2008.

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

MS – MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria MS nº 2914/2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/Portaria_MS_2914-11.pdf>. Acesso em: abr. 2014.

PEREIRA, L. R.; PASQUALETTO, A.; MINAMI, M. Y. M. **Viabilidade econômico/ambiental da implantação de um sistema de captação e aproveitamento de água pluvial em edificação de 100m² de cobertura.** Departamento de Engenharia, Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2008. Disponível em: <http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/VIABILIDADE%20ECONOMICO_AMBIENTAL%20DA%20IMPLANTA%C3%87%C3%83O%20DE%20UM%20SISTEMA%20DE%20CAPTA%C3%87%C3%83O%20E%20APROVITAMENTO%20DE%20%C3%81GUA.pdf>. Acesso em: jun. 2014.

RUPP, F. R.; MUNARIM, U.; GHISI, E. **Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, out./dez. 2011.

SILVA, A. F. da C. S. **A Água na História do Homem.** 2013. Disponível em: <<http://www.coladaweb.com/historia/a-agua-na-historia-do-homem>>. Acesso em mai. 2014.

SILVA, V. P. R. da; MELO, H.; TEIXEIRA, A. H. de C.; CAVALCANTI, J. H. F. Impacto do Fenômeno El Niño na Captação de Chuva no Semi-árido do Nordeste do Brasil. *In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE*

CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 1999, Petrolina. *Anais eletrônicos...* Petrolina: EMBRAPA, 1999. Disponível em:
<www.cpatosa.embrapa.br/catalogo/doc/droughts/3_1_Hiran_Melo.doc>. Acesso em: abr. 2014.

SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Tabela Resumo de Informações e Indicadores por Estado.** Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=103>>. Acesso em: jun. 2014.

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

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas: Saneamento para todos.** Brasília, 2005. Disponível em:
<<http://www.capacidades.gov.br/media/doc/acervo/06906898a257ceb3ec8687675e9e36c8.pdf>>. Acesso em mar. 2014.

UNESCO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **WWDR4 – Resumo histórico:** Os recursos hídricos do planeta estão sob pressão do crescimento rápido das demandas por água e das mudanças climáticas, diz novo Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos. Disponível em:
<http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Brasilia/pdf/WWDR4%20Background%20Briefing%20Note_pt_2012.pdf>. Acesso em: mai. 2014.

VON SPERLING, M.; SANTOS, A. S. P.; MELO, M. C. de; LIBÂNIO, M. Investigação de fatores de influência no consumo per capita de água em estados brasileiros e em cidades de Minas Gerais. *In: VI SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 2002, Vitória. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/dos.pdf>>. Acesso em: jun. 2014.

ZOLET, M. **Potencial de aproveitamento de água de chuva para uso residencial na região urbana de Curitiba.** 2005. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2005.