

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E
AMBIENTAL**

LUCIANA CRISTINA DA COSTA

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE
ÁGUA DA CHUVA CONSIDERANDO CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
PARA A REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS**

PONTA GROSSA

2016

LUCIANA CRISTINA DA COSTA

**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS PARA APROVEITAMENTO DE
ÁGUA DA CHUVA CONSIDERANDO CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS
PARA A REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS**

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária e
Ambiental na Universidade Estadual de Ponta Grossa,
Área de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Jorim Sousa das Virgens Filho

PONTA GROSSA

2016

C837 Costa, Luciana Cristina da
Dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva considerando cenários de mudanças climáticas para a região dos Campos Gerais/ Luciana Cristina da Costa. Ponta Grossa, 2016.
80f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental – Área de Concentração – Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade Estadual de Ponta Grossa

Orientador: Prof. Dr. Jorim Sousa das Virgens Filho.

1. Captação de águas pluviais. 2. NBR15527:2007. 3. Alterações climáticas. 4. Reservatório de água da chuva. I. Virgens Filho, Jorim Sousa de. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. III. T.

CDD : 628.2



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE



FOLHA DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação: “**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA CONSIDERANDO CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS PARA A REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS.**”

Nome: **LUCIANA CRISTINA DA COSTA**

Orientador: Prof^o. Dr^o. Jorim Sousa das Virgens Filho

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Jorim Sousa das Virgens Filho
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Prof. Dr. Marcos Rogério Széliga
Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG

Prof. Dr. Ana Paulo Pupo Correia
Instituto Federal de Santa Catarina - IFSC

Ponta Grossa, 25 de novembro de 2016.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual de Ponta Grossa, à coordenação e a todos os professores do curso;

Ao Professor e Orientador Jorim Sousa das Virgens Filho pela confiança e dedicação na orientação deste trabalho, pela grande contribuição com seus conhecimentos assim como dedicação para desenvolvimento e conclusão deste estudo;

A Gabriela Leite Neves, pela elaboração dos mapas, sugestões e principalmente pelo auxílio no desenvolvimento deste trabalho;

Ao IAPAR e a ANA pela concessão dos dados meteorológicos;

Aos meus colegas de trabalho, e todas as demais pessoas que me permitiram concluir esta dissertação;

A minha família pelo suporte e compreensão;

A Deus, a quem sempre solicitei por proteção durante minhas viagens e que esteve comigo durante toda a minha vida.

RESUMO

COSTA, Luciana Cristina. **Dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água da chuva considerando cenários de mudanças climáticas para a região dos campos gerais**. 2016. 80f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016.

O objetivo deste estudo foi dimensionar o reservatório para águas pluviais para a Região dos Campos Gerais do Paraná de acordo com as metodologias propostas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), considerando para tanto os impactos das alterações climáticas projetadas até o final do século XXI do quinto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. Para realização deste trabalho foram utilizadas as metodologias de cálculo de volume final de reservatório de água pluvial propostas pela ABNT, série histórica de dados pluviométricos assim como os projetados para dois possíveis cenários climáticos. Através da ferramenta PGECLIMA_R foi possível projetar os níveis de precipitação previstos no melhor e no pior cenário climático para o final do século, e desta forma dimensionar o reservatório e analisar os impactos causados pelas alterações climáticas sob o volume final do reservatório para águas pluviais. Concluiu-se que os métodos de dimensionamento estudados possuem grande sensibilidade quanto às alterações climáticas, sendo assim o projetista deve levar em consideração as alterações climáticas previstas para proceder com o dimensionamento de reservatórios de armazenamento e utilização das águas pluviais, uma vez que estes apresentaram grandes variações de volume de acordo com cada metodologia aplicada e para cada cenário simulado. Ao projetar dados de precipitação futuros, o software PGECLIMA_R apresentou-se como uma importante ferramenta a ser utilizada na área da construção civil, de planejamento e desenvolvimento urbano.

Palavras-chave: Captação de águas pluviais. NBR15527:2007. Alterações climáticas. Reservatório de água da chuva.

ABSTRACT

COSTA, Luciana Cristina da; **Dimensioning of reservoirs for rainwater harvesting considering climate change scenarios for the general field region.** 2016. 80p. Master's Dissertation in Sanitary and Environmental Engineering - State University of Ponta Grossa, 2016.

The objective of this study was to size the reservoir for rainwater harvesting system in the Campos Gerais of Paraná according to the methodologies proposed by the ABNT (2007), considering the impacts of climate change projected until the end of the 21st century on the fifth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. On this paper, the methodologies for calculation of final volume of rainwater reservoir proposed by ABNT (2007) were used, as well the historical series of rainfall data and those projected for two possible climatic scenarios were used. Through the PGECLIMA_R tool, it was possible to project the precipitation levels predicted in the best and the worst climatic scenario by the end of the century, in order to size the reservoir and analyze the impacts caused by climate change under the final volume of the rainwater reservoir. It was concluded that the designer should take into account the expected climate changes for the design of storage reservoirs and the use of rainwater, since these presented large volume variations according to each applied methodology and for each simulated scenario. When designing future precipitation data, the PGECLIMA_R software presented itself as an important tool to be used in the area of civil construction, urban and development planning.

Keywords: Rainwater harvesting system. NBR15527:2007. Climate change. Rainwater reservoir.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Projeções regionalizadas de clima nos biomas brasileiros da Amazônia, Cerrado, Caatinga, Pantanal, Mata Atlântica (setores nordeste e sul/sudeste) e Pampa para os períodos de início (2011-2040), meados (2041-2070) e final (2071/2100) do século XXI.....	18
Figura 2.1 - Localização da Região dos Campos Gerais do Paraná.....	29
Figura 2.2 - Valores mensais de chuva (acumulado), volume captado e volume demandado para as localidades de Campo do Tenente (A), Campo Largo (B), Cândido Abreu (C), Castro (D), Ivaí (E) e Jaguariaíva (F).	40
Figura 2.3 - Valores mensais de chuva (acumulado), volume captado e volume demandado para as localidades de Lapa (A), Ponta Grossa (B), Rio Negro (C), Sengés (D), Telêmaco Borba (E) e Tibagi (F).	41
Figura 3.1 – Localização da Região dos Campos Gerais do Paraná	53
Figura 3.2 - Método Prático de Azevedo Neto.....	67
Figura 3.3 - Método de Prático Inglês	69
Figura 3.4 - Método de Rippl	72
Figura 3.5 - Método da Simulação.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Coordenadas geográficas das estações pluviométricas dos Campos Gerais do Paraná, utilizadas neste trabalho.....	30
Tabela 2.2 - Coeficientes de Escoamento Superficial.	31
Tabela 2.3 - Cálculo da demanda de Agua Pluvial.....	32
Tabela 2.4 – Valores de chuva acumulada anual (mm), estimativa dos reservatórios de água de chuva em m3 segundo os métodos Rippl (RIP), Prático Australiano (AUS), Simulação (SIM), Azevedo Netto (AZE), Prático Inglês (ING), Prático Alemão (ALE) e Média das estimativas válidas em m3 segundo os métodos utilizados.	38
Tabela 3.1 – Coordenadas geográficas das estações climatológicas utilizadas neste trabalho.	54
Tabela 3.2 – Cálculo do consumo de água pluvial.	59
Tabela 3.3 - Dados de precipitação (mm) projetados em C1 e C2 até o final do século XXI.	611
Tabela 3.4 - Resultados obtidos pela Metodologia de Rippl.....	62
Tabela 3.5 - Resultados obtidos pela Metodologia da Simulação.....	63
Tabela 3.6 - Resultados obtidos pela Metodologia de Azevedo Netto.....	63
Tabela 3.7 - Resultados obtidos pela Metodologia Inglesa.....	64

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
REFERÊNCIAS	12
CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO 2 - DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA PARA EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS NO PARANÁ	23
RESUMO.....	23
ABSTRACT	24
2.1 INTRODUÇÃO	25
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
2.2.1 Volume de água armazenada.....	31
2.2.2 Demanda de água da chuva	32
2.2.3 Método de Rippl.....	33
2.2.4 Método Australiano	34
2.2.5 Método da Simulação	35
2.2.6 Método de Azevedo Neto.....	36
2.2.7 Método Prático Inglês.....	37
2.2.8 Método Prático Alemão.....	37
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
2.4 CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS	46
CAPÍTULO 3 - IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NO DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DE CHUVA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS NO PARANÁ	48

RESUMO.....	48
ABSTRACT	49
3.1 INTRODUÇÃO	50
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	53
3.2.1 Métodos de dimensionamento que utilizam dados mensais de precipitação.....	55
3.2.1.1 Método de Rippl.....	55
3.2.1.2 Método da Simulação	57
3.2.2 Métodos de dimensionamento que utilizam dados anuais de precipitação pluvial	57
3.2.2.1 Método de Azevedo Neto	57
3.2.2.2 Método Prático Inglês.....	58
3.2.3 Cálculo da demanda.....	59
3.2.4 Espacialização dos dados.....	60
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
3.3.1 Análise dos métodos com dados anuais de precipitação pluvial	65
3.3.1.1 Método de Azevedo Neto	65
3.3.1.2 Método Prático Inglês.....	68
3.3.2 Análise dos métodos com dados mensais de precipitação pluvial	70
3.3.2.1 Método de Rippl.....	70
3.3.2.2 Método da Simulação	73
3.4 CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS	76
CONCLUSÃO.....	79

INTRODUÇÃO

No estudo e planejamento do desenvolvimento das cidades é fundamental a reflexão sobre a sustentabilidade urbana, mesmo que o termo sustentabilidade envolva várias discussões acerca de seu significado. Para Barbosa; Rossi e Drach (2014) a utilização de fontes renováveis de recursos é comumente adotada como uma ação sustentável.

A implantação de sistemas que promovem a economia de um recurso natural nas edificações é possível através de projetos de uso de águas pluviais, do uso da radiação solar, da geração de energia eólica, dentre outros sistemas que promovem conforto térmico e reduzem o uso de energia elétrica. São muitos os sistemas que possibilitam a economia no consumo de recursos e, a concepção destes sistemas na edificação, faz dela sustentável. O aproveitamento de água da chuva é assunto de discussões que permeiam o tema de construções sustentáveis (MORUZZI; OLIVEIRA; CARVALHO, 2008).

Por sua vez, o uso da água da chuva como fonte de água não potável nas residências faz com que o sistema sustentável da edificação forneça parte de um recurso fundamental, a água. Como também permite a redução da vazão nas tubulações de drenagem que é promovida por grandes chuvas nos centros urbanos. Assim, os reservatórios destinados a utilização da água da chuva como uma fonte alternativa de consumo possuem um papel importante no futuro. Visto que as alarmantes previsões climáticas apontam elevadas chuvas associadas a eventos climáticos extremos. Apesar do dimensionamento de reservatório de água pluvial não levar em consideração as alterações climáticas previstas, é provável que no futuro elas realmente ocorram, afetando o desempenho dos reservatórios (HAQUE; RAHMAN; SAMALI, 2016).

Ao se tratar de águas pluviais, as alterações climáticas impactam diretamente na utilização destes sistemas e por sua vez na eficiência da “sustentabilidade” das edificações. Por exemplo: os níveis de precipitação pluvial influenciam no volume de água a ser captado e reservado; o sistema que proporciona conforto térmico é dimensionado em função das temperaturas do ar; sistemas de aquecimento são dimensionados levando em consideração a incidência solar (radiação solar); os níveis de radiação solar também interferem no dimensionamento de sistemas de geração de energia elétrica assim como a velocidade do vento.

Pesquisas que pretendam estudar os impactos que o clima ou suas perturbações possam causar sobre estes sistemas são passíveis de execução, uma vez que podem responder questões do tipo: se uma edificação foi dimensionada e construída nos dias atuais com

finalidade sustentável, qual será a sua situação no futuro? Seus sistemas que provêm a economia de consumo de recursos naturais continuam sendo suficientes?

Além disso, o uso de dados climáticos históricos ou simulados por um software como o PGECLIMA_R, criando cenários climáticos futuros, podem propiciar uma nova forma de abordagem, no paradigma da maneira de construção de edificações que utilizem de maneira eficiente os recursos materiais necessários, mas com a preocupação de preservar o meio ambiente racionalizando os recursos naturais.

O objetivo geral desta pesquisa foi dimensionar o reservatório para Sistema de Armazenamento de Água da Chuva (SAAC) em edificações residenciais na região dos Campos Gerais do Paraná, tendo em vista o impacto das mudanças climáticas globais. Para tanto foram elaborados dois artigos que são apresentados em formato de capítulos, os quais compõe uma dissertação acerca da temática proposta. Os dois artigos abordam o dimensionamento de reservatórios para armazenamento de água da chuva e também analisa os impactos que esses podem sofrer com a alteração dos níveis de precipitação, previstos para ocorrerem até o final do século.

O primeiro capítulo trata-se do Artigo titulado Dimensionamento de Reservatório de Água Pluvial: Proposta para Edificações Residenciais na Região dos Campos Gerais no Paraná, onde foi dimensionado reservatório para um Sistema de Abastecimento de Água da Chuva utilizando-se as seis metodologias de cálculo propostas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2007) para uma edificação unifamiliar em 12 (doze) cidades pertencentes à região dos Campos Gerais do Paraná.

O segundo capítulo abordou o impacto das alterações climáticas sobre o dimensionamento dos reservatórios de água pluvial, também para os 12 (doze) postos localizados na região dos Campos Gerais do Paraná. Foram utilizadas 4 (quatro) metodologias de dimensionamento indicadas pela ABNT (2007) e realizado o cálculo do tamanho do reservatório frente as alterações climáticas previstas. Considerou-se dois cenários climáticos com base nas previsões sugeridas pelo IPCC (2007). A fim de obter as alterações na precipitação pluvial até o final do século XXI, foram realizadas simulações de dados climáticos através do software PGECLIMA_R (VIRGENS FILHO et al., 2013).

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva: aproveitamento em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- BARBOSA, G. S.; ROSSI, A. M. G.; DRAC, P. R. C. Análise de Projeto Urbano a partir de parâmetros urbanos sustentáveis: alteração morfológica de Copacabana e algumas de suas consequências climáticas (1930-1950-2010). **Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)**, v. 6, n. 3, p. 275-287, set./dez. 2014.
- HAQUE, M. M.; RAHMAN, A.; SAMALI, B. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting Md Mahmudul. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 60-69, 2016.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007**: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2007. 104p.
- MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C.; CARVALHO, G. S. Volume do reservatório de aproveitamento de água pluvial baseado no conceito do balanço de vazões para uma residência unifamiliar. **Publicatio UEPG Exact and Earth Sciences, Agrarian Sciences and Engineering**, v. 14, n. 3, p. 217-227, 2008.
- VIRGENS FILHO, J. S. et al. Desempenho dos modelos CLIGEN, LARS-WG e PGECLIMA_R na simulação de séries diárias de temperatura máxima do ar para localidades do estado do Paraná. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 538-547, 2013.

CAPÍTULO 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica (IDHEA, 2007), a necessidade de construções com menor impacto sobre o meio ambiente começou após a 1ª Crise do Petróleo em 1973, quando os países exportadores de petróleo subiram abruptamente o preço de seus produtos, forçando o Ocidente a encontrar opções para seu abastecimento. Desta forma, a busca por maior eficiência energética tornou-se um imperativo em todos os setores da economia, incluindo as edificações, que demandavam grandes quantidades de energia para iluminação, funcionamento e sistemas de calefação e refrigeração.

No Brasil, após a Rio 92 fundamentou-se a sistematização de um modelo que buscasse, por meio das edificações, reproduzir ao máximo as características do meio ambiente natural no ambiente construído e incorporar o conceito de ecologia em seus processos, economizando na utilização de recursos naturais e, colaborando assim para o desenvolvimento sustentável. Contudo, segundo Barbosa; Rossi e Drach (2014), a sustentabilidade das cidades não se refere apenas às questões ecológicas, mas também à qualidade de vida. Assim para um desenvolvimento sustentável, deve se considerar os fatores ambientais, sociais, econômicos e culturais. Dentro desse contexto, o sistema de captação de água de chuva colabora no desenvolvimento de cidades sustentáveis e conseqüentemente com o desenvolvimento urbano.

O armazenamento das águas pluviais em edificações é geralmente destinado à posterior utilização desta água. No entanto sabe-se que o desenvolvimento das cidades acarreta em maiores superfícies impermeabilizadas, a água da chuva que antes molhava árvores, florestas, infiltrava no solo, reabastecia lençóis freáticos e por fim contribuía no fluxo dos rios, agora incide sobre coberturas de edifícios, rodovias, calçadas e escoas rapidamente através de tubulações para corpos hídricos alterando o ciclo natural da água. De maneira que as superfícies impermeáveis alteram a duração e a intensidade do fluxo de seus corpos hídricos receptores durante as chuvas, iniciando uma cadeia de conseqüências, que incluem alagamentos, desestabilização das margens dos corpos hídricos, perda de árvores e vegetações, dentre outros danos aos ecossistemas locais (KEELER; BURKE, 2010).

A redução dos impactos causados pela rápida incidência da água da chuva nos corpos hídricos pode ser diminuída com o armazenamento desta água, fornecendo uma segunda função aos reservatórios de águas pluviais, fazendo com que o reservatório não seja

dimensionado apenas para atender uma demanda de uso, mas também com finalidade de mitigar impactos da urbanização e do aumento nos níveis de precipitação.

Para regulamentação do armazenamento e utilização de água da chuva no Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2007) dispõe da Norma Brasileira Regulamentadora - NBR15527 - Água de chuva: Aproveitamento em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis. Nesta norma o método de dimensionamento do reservatório de águas pluviais pode ser escolhido pelo projetista de acordo com seus critérios e dados existentes para o dimensionamento, desde que justificada tecnicamente a escolha da metodologia. Em seu anexo “A”, a NBR15527/2007 apresenta diferentes metodologias que são sugeridas para utilização no procedimento de dimensionamento do reservatório.

Em seu escopo a norma visa fornecer os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis (ABNT, 2007). Assim sendo, esta norma é aplicada para a o armazenamento e utilização da água da chuva, quando esta é coletada e reservada para uso em edificações, sejam elas residenciais, comerciais ou até mesmo industriais.

No Brasil, em 1934 através do Decreto nº. 24.643, mais conhecido como Código das Águas, em seu Art. 103 estabelece que “*As águas pluviais pertencem ao dono do prédio onde caírem diretamente, podendo o mesmo dispor delas a vontade*” podendo assim, utilizar da água pluvial como fonte alternativa para consumo em fins não potáveis (BRASIL, 1934). Em 2013, o Decreto nº. 8.038 Regulamenta o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água - Programa Cisternas, e dá outras providências (BRASIL, 2013). Onde foi lançado edital para a execução do Programa Cisternas, destinando-se à promoção do acesso autônomo e sustentável à água para consumo humano e para a produção de alimentos às famílias de baixa renda residentes na zona rural atingidas pela seca ou falta regular de água.

Tratando-se de legislação federal voltada para os recursos hídricos, a lei que se destaca é a do ano de 1997, Lei nº 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e que cria em seu artigo nº. 32 o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). No Paraná, a Lei nº 17.084/2012 determina que todos os prédios públicos devem possuir um sistema de aproveitamento de águas da chuva, além de outros sistemas que promovam economia de recursos naturais como sistema de aquecimento por energia solar, e telhados ambientalmente corretos (PARANÁ, 2012). Esta lei tem como objetivo gerar economia e ganhos ambientais aos municípios do estado do Paraná, no entanto, para o estado do Paraná somente alguns municípios, através de decretos tornam necessários os

SAAC para edificações residenciais, como é o caso de Curitiba que através do Decreto nº. 293/2006 (PARANÁ, 2006) dispõe que nos edifícios multifamiliares cuja área total construída por unidade seja igual ou superior a 250 m², nas residências unifamiliares em série, ou em conjuntos habitacionais independentemente da área construída devem ser executados SAAC, inclusive, neste documento apresenta-se um método para dimensionamento do reservatório, foi elaborado por Bezerra et al. (2010) um estudo comparativo entre as metodologias do decreto e da ABNT (2007).

Ainda no estado do Paraná para a cidade de Ponta Grossa, está em andamento o projeto de lei que institui o programa de Captação, Armazenagem, Conservação e Uso Racional da Água Pluvial para Edificações Urbanas, sob a coordenação e fiscalização da Agência Reguladora de Águas e Saneamento Básico (ARAS), instituída através da Lei nº. 8.428, de 16 de janeiro de 2006, tendo como objetivo instituir medidas que induzam à armazenagem, conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para captação de água nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da utilização das águas pluviais (PARANÁ, 2006). No município de Londrina, o Conselho Municipal do Meio Ambiente (CONSEMA) na Resolução nº. 18 de 2009 torna obrigatória a instalação de SAAC para novas edificações com área construída maior que 200 m² (PARANÁ, 2009).

Destaca-se o Espírito Santo, que sob a Lei nº. 317 de 2006 obriga mesmo as edificações residências de pequeno porte contemplem SAAC, pois ao se comparar com outras legislações, esta inclui edificações residências ou comerciais com mais de 50 m² tenham SAAC, para todo o estado do Espírito Santo, enquanto outros municípios estabelecem áreas em torno de 200 m² a 500 m² (). Assim, garante que a população tenha acesso a uma fonte alternativa de água e evita a ocorrência de cheias nas áreas de risco, uma vez que parte da água será captada e destinada a reservatórios de água pluvial para posterior utilização.

Para armazenar a água pluvial, esta é captada por meio de um sistema que direciona a água que incide sob as coberturas para um reservatório através de calhas e dutos. Ao ser armazenada, recebendo ou não tratamento, pode ser utilizada para vários fins, como por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais. A necessidade do tratamento da água a ser utilizada depende da qualidade da água de chuva armazenada e também da finalidade a qual se destina (TOMAZ, 2005).

Segundo Bezerra et al. (2010) em um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, o reservatório de armazenamento é geralmente o componente

mais oneroso do sistema. Por esse motivo recomenda-se avaliar os diversos métodos de dimensionamento existentes, para então projetar a solução técnica e economicamente mais adequada para cada caso. Independentemente do método selecionado, o sistema para aproveitamento de água de chuva pode não suprir totalmente a demanda e necessitar de maior ou menor complementação com água da rede de abastecimento municipal. Assim sendo, é preciso dimensionar o reservatório de água da chuva de acordo com as demandas a serem supridas e outras variáveis relevantes e características de cada projeto.

Uma das variáveis a ser considerada é o tempo da vida útil do reservatório, este pode ser dimensionado para ter uma utilização de 30 anos, por exemplo, onde serão consideradas as variações de demanda e alterações previstas do clima para este determinado intervalo de tempo, no entanto a ABNT (2013) em sua norma que regulamenta as condições mínimas de comportamento em uso dos componentes e sistemas das edificações e determina a vida útil de projeto, a NBR15575 Desempenho de Edificações Habitacionais, em seu sexto capítulo onde trata de sistemas hidráulicos não fornece referências quanto ao dimensionamento de reservatórios de águas pluviais, de forma que fica a critério do projetista a análise das características climáticas do local assim como sua prevista alteração ao longo do tempo para garantir sua eficiência durante a vida útil projetada para o sistema.

As particularidades do clima de uma região possuem influência direta na determinação do tamanho dos reservatórios destinados a águas pluviais, sendo que a precipitação pluvial é um dado fundamental para o dimensionamento deste tipo de reservatório. Desta forma, a alteração do regime pluviométrico ao longo do tempo poderá ter efeitos sobre o uso, assim como sobre a eficiência dos reservatórios pluviais.

As mudanças climáticas globais estão sendo apontadas como agente modificador no comportamento da temperatura do ar e da precipitação pluviométrica. Esta variabilidade no clima poderá acarretar em alterações na disponibilidade hídrica, aumentando a necessidade de fontes alternativas de água (SILVA; NÓBREGA; GALVÍNCIO, 2009). Neste sentido, as alterações climáticas previstas que impactam o regime pluviométrico regional devem ser consideradas no processo de dimensionamento do reservatório do SAAC, a fim de otimizar o aproveitamento de água de chuva.

A alteração do clima, segundo a *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) pode ocorrer de duas maneiras distintas: pela alteração devida à interação humana com o meio ambiente, de maneira que altera a composição do solo e da atmosfera global; ou pela forma natural, ou seja, devido a característica da evolução da terra ao longo do tempo.

O estudo feito por Moura; Pellegrino e Martins (2014) envolvendo modelos de previsão climáticos mostrou que existem duas linhas de pesquisa científica contraditórias em relação a atribuição do aquecimento global às interações antrópicas. Os autores relatam que “*existe a linha de pesquisa cética, contrária ao aquecimento antrópico, e a alarmista, que atribui o aquecimento global à ação antrópica*”. Comentam ainda que ambas apresentam teses totalmente divergentes assim como seus argumentos são bastante convincentes para defenderem com muito afincos seus prognósticos.

De acordo com Nobre (2011) os processos naturais da Terra sempre foram responsáveis pelas mudanças no clima e conseqüentemente na superfície terrestre. Porém, essas instabilidades, como por exemplo, o aumento nas temperaturas do ar, derretimento das calotas polares, aumento do nível do mar, entre outras, estão sendo observadas como não naturais e, no entanto, estão relacionadas ao aquecimento global e às mudanças climáticas. O aquecimento global representa a elevação das temperaturas da atmosfera terrestre que está associada às atividades humanas que emitem gases de efeito estufa, como industrialização, queima de combustíveis fósseis, desmatamento e as mudanças no uso da terra (IPCC, 2007).

Com o objetivo de avaliar estas variabilidades do clima e seus possíveis riscos à sociedade, foi criado o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), que por sua vez foi estabelecido em 1988, pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) e pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). O IPCC faz avaliações regulares sobre as mudanças climáticas, publicando relatórios periódicos a fim de fornecer informações técnicas e socioeconômicas sobre o assunto (IPCC, 2007).

Com a finalidade de sugerir as projeções de alteração do clima, o IPCC utiliza-se de modelos de circulação global (GCMs) como ferramentas para projetar cenários futuros com base nas emissões dos gases de efeito estufa em conjunto com fatores como demografia, desenvolvimento socioeconômico, e mudança na tecnologia (IPCC, 2001).

O quinto relatório do IPCC publicado em 2013, conclui que o aquecimento do sistema climático é inequívoco e que: “*É extremamente provável (maior que 95%) que a influência humana seja a causa dominante do aquecimento observado na metade do século 20.*” As projeções sugeridas nesse relatório estão nas faixas de 0,3 °C a 1,7 °C (RCP2.6), 1,1 °C a 2,6 °C (RCP4.5), 1,4 °C a 3,1 °C (RCP6.0) ou 2,6 °C a 4,8 °C (RCP8.5).

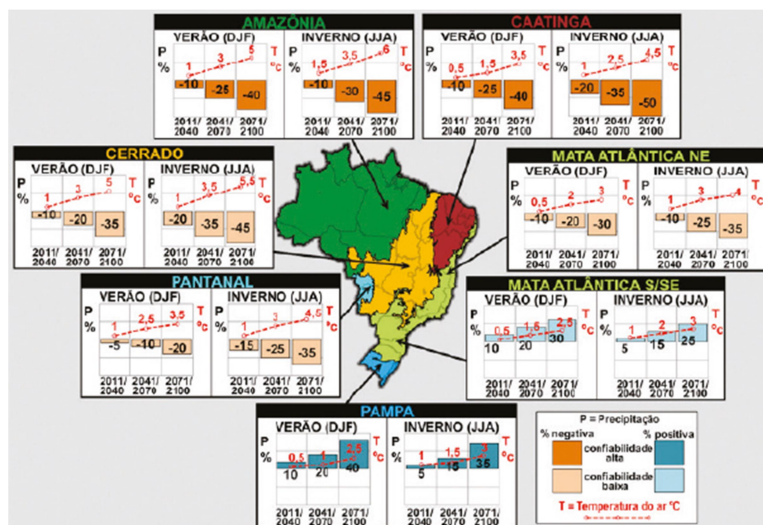
A alteração climática global pode diferenciar da alteração em nível local que está relacionada às alterações regionais, como o desmatamento, atividades agrícolas, uso indevido da terra, expansão da área urbana, entre outras. Essas alterações locais geralmente estão mais ligadas aos eventos extremos.

No Brasil, a ocorrência de eventos climáticos extremos, tem sido cada vez mais recorrente e, enchentes causadas por chuvas fortes e ao mesmo tempo em outras regiões do país, secas prejudicam o abastecimento de água para a população, que por sua vez, também reduzem drasticamente o volume de barragens utilizadas por hidrelétricas para produção de energia ocasionando corte ou aumento do custo para a população brasileira. De acordo com Marengo (2014) há um aumento da frequência de chuvas fortes no verão e no inverno no Sul e no Sudeste do Brasil, além das secas históricas na Amazônia em 2005 e 2010 e outros eventos extremos ocorridos na mesma região como as enchentes de 2009, 2012 e 2014. O autor cita ainda a situação vivenciada em São Paulo e Rio de Janeiro, com a grande seca dos anos 2014-15, que ainda está afetando a segurança hídrica e energética desta região, e que por sua vez acaba restringindo o uso da água para a população local e prejudica também a produção de energia elétrica.

Em concordância com Marengo (2014), Borrego (2011) comenta que os impactos advindos de catástrofes ditas “naturais” estão associadas às opções estratégicas de desenvolvimento e ao estilo de vida insustentável da sociedade moderna.

O Primeiro Relatório Anual - RAN1 (PBMC, 2014) do Painel Brasileiro sobre Mudanças Climáticas apresenta em seu 9º capítulo uma previsão climática até o ano de 2100, onde regionaliza Brasil em sete biomas de comportamento climático. As projeções são consensuais para os biomas brasileiros e baseadas nos resultados científicos de modelagem climática global e regional (Figura 1.1).

Figura 1.1 - Projeções regionalizadas de clima nos biomas brasileiros da Amazônia, Cerrado, Caatinga, Pantanal, Mata Atlântica (setores nordeste e sul/sudeste) e Pampa para os períodos de início (2011-2040), meados (2041-2070) e final (2071/2100) do século XXI



Fonte: PBMC, 2014.

Conforme pode ser observado na Figura 1.1, as projeções indicam um aumento de temperatura até o final do século para todo o país, embora em alguns biomas, como por exemplo na Amazônia e Caatinga, é provável que o aumento da temperatura cause diminuição da precipitação, enquanto que nos biomas Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica-NE a diminuição da precipitação com o aumento da temperatura seja menos provável. Na região dos Campos Gerais, que está localizada no estado do Paraná e segundo a classificação dos biomas é inserida na Mata Atlântica-S/SE, a projeção é que ocorra juntamente com a elevação da temperatura um aumento da precipitação em ambas as estações de verão e inverno.

Segundo Moura; Pellegrino e Martins (2014), caso a intensidade e frequência das chuvas fortes continuem a aumentar, as ampliações nos sistemas de drenagem poderão demandar novas intervenções no futuro, significando mais gastos e novas obras.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: Água de chuva: aproveitamento em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte II: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013.
- INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DA HABITAÇÃO ECOLÓGICA (IDHEA). **Materiais ecológicos e tecnologias sustentáveis para arquitetura e construção civil**. 2007. Disponível em: <www.idhea.com.br/pdf/materiais_ecologicos.pdf>. Acesso em 10 de maio de 2015.
- BARBOSA, G. S.; ROSSI, A. M. G.; DRAC, P. R. C. Análise de Projeto Urbano a partir de parâmetros urbanos sustentáveis: alteração morfológica de Copacabana e algumas de suas consequências climáticas (1930-1950-2010). **Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)**, v. 6, n. 3, p. 275-287, set./dez. 2014.
- BEZERRA, S. M. C. et al. 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**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 219-231, out./dez. 2010.
- BORREGO, C. et al. As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio. **Revista Captar: Ciência e Ambiente para Todos**, v. 2, n. 2, p. 1-16, 2010.
- BRASIL. **Decreto n. 24.643, de 10 de outubro de 1934**. Dispõe sobre Código de Águas. Brasília, out. 1934.
- BRASIL. **Decreto n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília, jan. 1997.
- BRASIL. **Decreto n. 8.038, de 4 de julho de 2013**. Regulamenta o Programa Nacional de Apoio à Captação de Água de Chuva e Outras Tecnologias Sociais de Acesso à Água. Brasília, jul. 2013.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2001.881pp.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland, 2007. 104p.

IPCC, INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.

KEELER, M.; BURKE B. **Projeto de Edificações Sustentáveis**. Porto Alegre: Bookman, 2010. 362p.

ESPÍRITO SANTO. **Lei nº. 317, de 19 de outubro de 2006**. Obriga a instalação de dispositivos para captação de águas da chuva em imóveis residenciais e comerciais construídos no estado do Espírito Santo. Espírito Santo, 2006.

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, n. 103, p. 25-32, 2014.

MOURA, N. C. B.; PELLEGRINO, P. R. M.; MARTINS, J. R. S. Transição em infraestruturas urbanas de controle pluvial: uma estratégia paisagística de adaptação às mudanças climáticas. **Paisagem e Ambiente**, n. 34, p. 107-128. 2014.

NOBRE, P. **Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro**. Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro, p. 25-35. 2011. Disponível em: <http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/09.22.17.03.30/doc/Nobre_Mudancas.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2016.

PARANÁ. **Decreto n. 293 de 22 de março de 2006**. Regulamenta a Lei nº 10.785/03 e dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/decreto/2006/30/293/decreto-n-293-2006-regulamenta-a-lei-n-10785-03>>. Acesso em: 26 jan. 2016.

PARANÁ. **Lei nº. 8.428, de 16 de janeiro de 2006**. Cria a Agência reguladora de águas e saneamento básico do município de Ponta Grossa. Paraná, Ponta Grossa, 2006.

PARANÁ. **Lei nº 17.084, de 13 de março de 2012**. Dispõe sobre a obrigatoriedade de sistema de aquecimento de água por energia solar e aproveitamento de águas de chuva na construção de prédios públicos, bem como, sobre a utilização de telhados ambientalmente corretos. Paraná, Curitiba, mar. 2012.

PARANÁ. **Resolução nº. 18 de 2009**. Estabelece o Programa racional de uso da água. Paraná, Londrina, 2009.

PBMC. **Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas** [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014. 464 p.

SILVA, I. F.; NÓBREGA, R. S.; GALVÍNCIO, J. D. Impacto das mudanças climáticas nas respostas hidrológicas do Rio Ipojuca (PE) – Parte 2: Cenários de aumento de temperatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 2, p. 19-30, 2009.

TOMAZ, P. Aproveitamento da Água de Chuva: **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. 2. ed. São Paulo: Editora Navegar, 2005. 180p.

CAPÍTULO 2

DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA PARA EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS NO PARANÁ

RESUMO

Pretendeu-se dimensionar reservatórios de água pluvial para as edificações residenciais na região dos Campos Gerais do Paraná. O trabalho justifica-se pela importância da utilização da água da chuva, como meio de diminuir a demanda de água potável. Ao armazenar a água em reservatórios, diminui-se o excesso de água a ser direcionado aos rios e conseqüentemente o risco de enchentes. As metodologias de cálculo utilizadas foram as propostas na norma brasileira em vigor, a NBR 15527:2007, sendo eles os métodos de Rippl, da Simulação, Australiano, Azevedo Neto, Prático Inglês e Alemão. Após os resultados apresentados foi observado que em alguns locais a escolha do método pode implicar num alto custo de implantação do sistema, devido o elevado tamanho do reservatório. Porém, em localidades sujeitas à insuficiência de escoamento hídrico, reservatórios com maiores volumes, podem auxiliar na contenção hídrica pluvial, que será lançada nos sistemas de tubulação de águas de chuva, minimizando assim o risco de eventos ambientais adversos como enchentes.

Palavras-chave: Captação de águas pluviais. NBR 15527:2007.

CHAPTER 2

SIZING OF RAINWATER RESERVOIR FOR RESIDENTIAL BUILDINGS IN THE REGION OF THE GENERAL FIELDS IN PARANÁ

ABSTRACT

It was intended in this research the scale rainwater tanks for residential buildings in the region of Campos Gerais in Paraná. The work is justified by the importance of the use of rainwater, as a means of reducing the demand for potable water, storing water in reservoirs, excess water to be directed to rivers and reducing the risk of floods. The methodologies were proposed in the Brazilian standard in force, the NBR 15527:2007, used in this work the Rippl, Simulation, Australian, Azevedo Neto, English and German methods. After the presented results it can be seen that in some places the choice of method may involve a high cost of deployment reservoir for rain water uptake. In locations subject to insufficient water flow, reservoirs with higher volumes, can assist in storm water containment, to be launched in the rain water pipe systems, thus minimizing the risk of adverse environmental events such as floods.

Keywords: Rainwater harvestin. NBR 15527:2007.

2.1 INTRODUÇÃO

O armazenamento da água da chuva é uma técnica utilizada em várias partes do planeta há milhares de anos, como um meio alternativo para suprir a necessidade hídrica para o consumo, e foi disseminada principalmente em regiões áridas e semiáridas que apresentavam crescimento da população.

Segundo Krishna; Philips e Pope (2002), a data em que esta técnica surgiu não é bem determinada com precisão. Existem relatos que datam de períodos anteriores a 3.000 a.C. em diversos lugares, que incluem o deserto de Negev em Israel, Índia, Grécia, Itália, Egito, Turquia e México. Registros informam que uma inscrição antiga datada de 850 a.C e conhecida como Pedra Moabita foi encontrada no Oriente Médio, e nela é relatado que o rei Mesha sugeriu que cada residência, devia conter um reservatório para o armazenamento da água da chuva (TOMAZ, 2005).

Na América do Sul, conforme Heller e Pádua (2006), o povo Inca utilizava reservatórios de água pluvial e sistemas de banhos canalizados em rocha por meio de condutos perfurados. No Brasil, segundo Yoshino (2012), foi encontrada nas fortalezas construídas pelos portugueses na Ilha de Santa Catarina, uma cisterna que armazenava água dos telhados para consumo das tropas e também outros usos.

Ao longo do tempo a necessidade de água foi se configurando como um problema para a civilização humana. Conforme já informava Shiklomanov (1998), a mudança massiva no ciclo hidrológico de rios e lagos, afeta a qualidade da água e o seu potencial como recurso de abastecimento nas cidades. A extensão dos recursos hídricos assim como a sua distribuição espacial e temporal não são determinadas apenas pela variação climática, mas também pelas atividades humanas e econômicas. Assim, diante da necessidade de um gerenciamento eficiente da água, muitos países industrializados, como o Japão e a Alemanha, estão seriamente empenhados no aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis e, outros países, como os Estados Unidos, Austrália e Singapura, também desenvolvem pesquisas neste sentido.

No Brasil, o uso da água da chuva ainda é pouco estimulado, visto que em grande parte das áreas urbanas as tarifas mínimas cobradas pelas companhias de abastecimento são fixadas para o fornecimento de até 10 m³ de água potável, o que torna inviável financeiramente a implantação de um sistema de coleta e armazenamento de água pluvial em edificações que possuem o consumo de água menor ou igual ao mínimo fixado de 10 m³. No Paraná, por exemplo, a companhia responsável pelo abastecimento público, Companhia de

saneamento do Paraná (SANEPAR), através de decreto estadual nº. 2010 publicado em 28 de julho de 2015 (PARANÁ, 2015), apresenta uma tabela de tarifas mínimas a serem pagas onde existe a separação em categorias, tarifa social, micro e pequeno negócio, normal e comercial/industrial, porém em todas estas tarifas o valor mínimo fixado é para o consumo de até 10 m³, ou seja, mesmo que o consumo na edificação seja inferior aos 10 m³, o valor a ser cobrado é o mesmo.

A utilização dada à água da chuva sem tratamento e para fins não potáveis, se somados, equivalem a um grande volume de água que pode ser economizado em residências, edifícios ou indústrias, gerando além da economia financeira, um menor impacto ambiental em zonas urbanas, uma vez que existem grandes áreas impermeabilizadas em que não é possível a absorção da água pelo solo, fazendo com que toda a chuva incidida sob os corpos hídricos, aumente rapidamente o seu volume causando enchentes e alagamentos.

Conforme Tomaz (2005), o armazenamento e utilização de água da chuva proporciona economia de água potável e contribui para a prevenção de enchentes causadas por chuvas torrenciais em grandes cidades, onde a superfície tornou-se impermeável, impedindo a infiltração da água. Isso ocorre porque quando a chuva incide sobre o solo, existe um equilíbrio natural do ciclo hidrológico e desta forma, é absorvida lentamente, sendo que parte da água que fica sob o solo úmido é absorvida por raízes de plantas e, posteriormente é evaporada para a superfície, ficando somente uma porção que é lentamente direcionada aos corpos hídricos. Isto não acontece em áreas urbanas, uma vez que, toda a água da chuva é direcionada através de sistemas de drenagem para os rios, fazendo com que esta água chegue em maior volume e muito mais rápido que do modo natural.

A água da chuva é captada geralmente por meio de um sistema que direciona a água que incide sob a área de uma cobertura para um reservatório através de calhas e dutos. Esta água ao ser armazenada, recebendo ou não tratamento, pode ser utilizada para vários fins, como por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais. A necessidade do tratamento da água a ser utilizada depende da qualidade da água de chuva armazenada e também da finalidade a qual se destina.

Justificando a importância da coleta e armazenamento da água da chuva, Fendrich (2003) defende que a aplicabilidade dos sistemas de coleta, armazenamento e utilização das águas pluviais, instalados em todos os tipos de construções, é um instrumento importante no controle do balanço hidrológico, como medida corretiva e mitigadora do impacto causado ao

ciclo da água local, pelas atividades humanas, nas áreas urbanas, com crescentes taxas de impermeabilização dos solos.

Num país como o Brasil, se observa nos dias atuais um desequilíbrio hídrico, onde em algumas regiões há excesso de chuvas e em outras, grandes períodos de escassez. Nota-se também que a demanda de água nos centros urbanos não se adéqua à capacidade momentânea dos corpos hídricos, causando um desequilíbrio ao mesmo tempo em diferentes regiões do país que ora é caracterizado por enchentes e ora é caracterizado por secas. Para que se mantenha o equilíbrio entre oferta e demanda, e garantir a sustentabilidade do desenvolvimento econômico e social, é preciso aplicar métodos e sistemas alternativos modernos e que sejam implementados em função de características dos sistemas e centros de produção específicos, respeitando as particularidades de cada caso (ANA, 2006).

Dentro deste contexto, na construção de um sistema de utilização de água de chuva, o reservatório é o item de maior valor monetário e é preciso atenção do projetista ao fazer o seu dimensionamento (AMORIM; PEREIRA, 2008). Assim sendo é preciso avaliar cada caso e encontrar uma solução de equilíbrio entre o atendimento à demanda e ao custo do sistema, buscando a melhor relação custo/benefício em cada região, de acordo com suas particularidades locais. Para Dornelles; Tassi e Goldenfum (2010) as técnicas que exigem séries históricas de dados pluviométricos tendem a incorporar as características locais dos regimes de chuva, e apresentam assim, um resultado mais consistente, mesmo que os dados de chuva quando diretamente aplicáveis, exijam considerável esforço de processamento.

Vários pesquisadores têm realizado estudos no sentido de desenvolver e aplicar metodologias que efetuem o dimensionamento de reservatórios para captação e armazenamento de água de chuva nas mais diversificadas regiões brasileiras. Ghisi (2006) avaliou o potencial de economia de água potável, utilizando a água da chuva no setor residencial do Brasil e concluiu que nas regiões Sudeste e Nordeste do país haveria dificuldades na disponibilidade hídrica, caso programas governamentais não promovessem a conservação da água. Segundo o autor o potencial de economia de água potável com a utilização de água de chuva giraria em torno de 48 a 100% nas cinco regiões do Brasil, sendo que na região Norte este potencial seria até maior que a demanda de água e que na região Sudeste a economia de água potável seria próximo de 48%, uma vez que com a água pluvial poderia realizar-se o uso em descargas sanitárias, regas de jardim, limpeza de pisos, carros e até lavagem de roupas o que representaria uma economia de 50% no consumo residencial.

Moruzzi; Oliveira e Carvalho (2008) compararam o Método do Máximo Aproveitamento (MMA) e o Rippl, contrapondo as vantagens, desvantagens e limitações de

maneira a apoiar decisões e difundir metodologias apropriadas para o aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares. Os autores concluíram que o dimensionamento de reservatórios através do MMA resulta em volumes menores e, conseqüentemente, menores custos de implantação, o que representa um tempo de amortização do investimento mais curto.

Bertoldi; Pinheiro e Pinheiro (2012) analisaram os volumes e eficiências de reservatórios para aproveitamento de água de chuva no estado de Santa Catarina e constataram que é possível dimensionar reservatórios para áreas de captação entre 75 e 300 m² com uma eficiência de 80 a 95%, garantindo o atendimento de uma demanda máxima de 5 m³/mês em todo o Estado. Os autores ainda observaram que a medida que a demanda aumenta para uma área de captação dada, fica inviável o cálculo do volume de um reservatório que atenda as condições impostas, uma vez que existe uma relação entre a área de captação e a demanda para as condições pluviométricas regionais a serem consideradas, fatos estes que permitiram determinar condições limites de atendimento do reservatório em função da demanda e da área de captação.

Inácio et al. (2013) realizaram o dimensionamento de um sistema de captação de água de chuva para uso doméstico em São Bernardo do Campo-SP, utilizando para tanto o Método Prático Inglês no projeto do reservatório, que segundo os autores, proporcionou bons resultados quando na implantação do sistema em edificações com pequenas áreas.

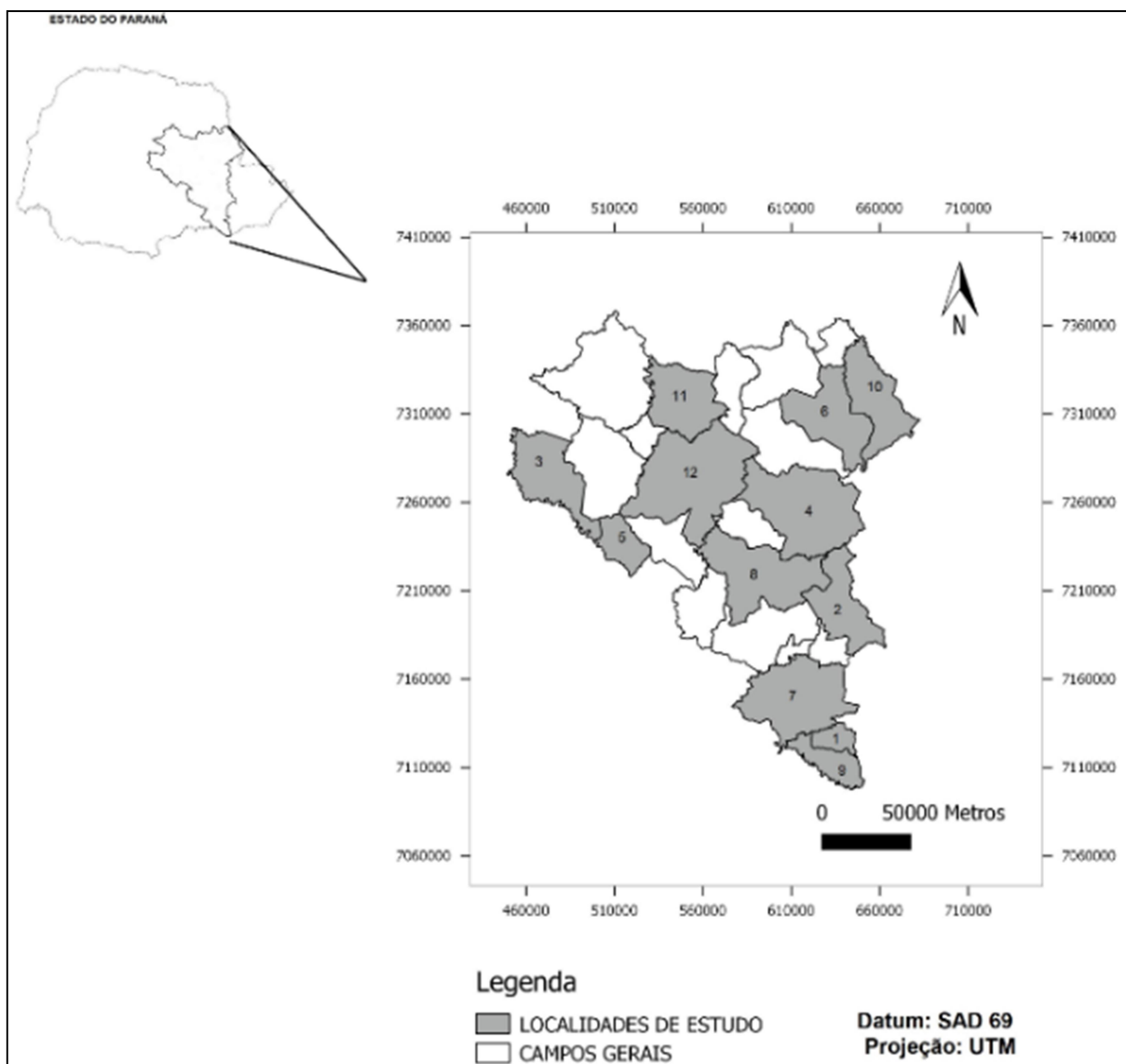
Souza (2013) propôs uma metodologia para determinação do volume de um reservatório de água pluvial não potável a partir de um procedimento incremental, e conseguiu resultados positivos quando comparados às metodologias conhecidas na literatura como os métodos Azevedo Neto, Alemão e Rippl, uma vez que permite ao projetista determinar previamente a confiança e a eficiência do sistema em função de aspectos específicos como consumo e características pluviométricas regionais entre outras, que por sua vez possibilita avaliar a variação do volume do reservatório ao longo de uma escala de tempo, por meio do balanço entre o volume aproveitável de água de chuva e o volume do reservatório em intervalos de tempo.

Tendo em vista que a utilização da água da chuva é um meio de diminuir a demanda de água potável e também ao armazenar a água em reservatórios, também se evita um excesso de água a ser direcionado diretamente aos rios, aumentando rapidamente a sua vazão e volume, diminuindo assim o risco de enchentes e inundações, este trabalho objetiva dimensionar reservatórios de água pluvial para edificações residenciais na região dos Campos Gerais do Paraná, considerando para tanto as metodologias propostas pelas normas brasileiras em vigor.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada do Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Para tanto foram utilizados dados pluviométricos de 12 localidades pertencentes à Região dos Campos Gerais do Paraná (Figura 2.1), cujas coordenadas geográficas das estações pluviométricas estão informadas na Tabela 2.1.

Figura 2.1 - Localização da Região dos Campos Gerais do Paraná



Fonte: Elaborado por Gabriela Leite Neves. Base vetorial: IBGE, 2014.

Tabela 2.1 - Coordenadas geográficas das estações pluviométricas dos Campos Gerais do Paraná, utilizadas neste trabalho.

Localidade	Latitude	Longitude	Altitude	Origem	Período
Campo do Tenente	- 25° 59'	- 49° 41'	780	ANA	1981-2013
Campo Largo	- 25° 25'	- 49° 23'	895	ANA	1984-2013
Candido Abreu	- 24° 50'	- 51° 09'	550	ANA	1980-2013
Castro	- 24° 46'	- 50° 04'	975	ANA	1980-2013
Ivaí	- 25° 01'	- 50° 51'	808	ANA	1980-2013
Jaguariaíva	- 24° 14'	- 49° 42'	923	ANA	1980-2013
Lapa	- 25° 47'	- 49° 46'	910	IAPAR	1988-2009
Ponta Grossa	- 25° 08'	- 50° 09'	790	ANA	1980-2013
Rio Negro	- 26° 06'	- 49° 48'	824	ANA	1981-2013
Sengés	- 23° 58'	- 49° 31'	600	ANA	1975-2003
Telêmaco Borba	- 24° 20'	- 50° 37'	768	IAPAR	1980-2009
Tibagi	- 24° 30'	- 50° 24'	720	ANA	1980-2013

A Região dos Campos Gerais do Paraná é definida, segundo Maack (2012), como uma zona fitogeográfica natural, com campos limpos, matas de galerias ou capões isolados de floresta ombrófila mista, áreas características de ocorrência do pinheiro araucária. Segundo o autor, o clima na região dos Campos Gerais apresenta algumas variações com relação aos elementos climáticos, os quais sofrem influências das características naturais e da localização, como no caso das variações de temperatura, índices de precipitação, número de horas de insolação, umidade relativa do ar e direção dos ventos. Segundo a classificação de Koppen a Região dos Campos Gerais tem predominância do clima temperado com verão ameno (tipo Cfb). No entanto, nos últimos anos tem-se observado que o fenômeno “*El Niño*” tem provocado alterações no clima do Estado do Paraná, assim como em outras regiões, e os Campos Gerais também experimentam tais alterações climáticas.

Neste trabalho foram utilizadas metodologias de dimensionamento de reservatórios para água da chuva que estão apresentados no apêndice da NBR15527:2007 (ABNT, 2007). Conforme esta norma é de critério do projetista a escolha do procedimento a ser utilizado, inclusive outros métodos que não são citados por essa norma podem ser adotados, desde que devidamente justificados. Desta forma, o projetista para encontrar o volume ideal de armazenamento de água para cada região, precisa conhecer o regime pluviométrico, as características de cálculo de cada metodologia e os usos a que será destinada a água a ser armazenada.

Os métodos citados pela NBR15527:2007 podem ser subdivididos em dois grandes grupos, aqueles que utilizam os dados de precipitação mensal e os que utilizam o valor acumulado, de precipitação anual. Os métodos em que são necessários os dados mensais de

quantidade de chuva e que foram utilizados neste trabalho são o método de Rippl, método da Simulação e método Australiano.

O dimensionamento utilizando as metodologias de Azevedo Neto, Prático Inglês e Prático Alemão possuem maior facilidade de cálculo, uma vez que é utilizada apenas uma equação para cada caso, e nestas insere-se apenas dados de precipitação anual acumulada, não sendo necessário um método de cálculo numérico que precise convergir.

Em casos onde a precipitação mensal é maior que a demanda estimada, o cálculo numérico não se aplica, pois não é possível convergir em um resultado específico, ficando então, a sugestão de se utilizar outro método ou apenas adotar o tamanho de reservatório menor ou igual à demanda mensal, uma vez que durante os trinta dias do mês o volume de água precipitada e armazenada supre a demanda da edificação.

Em casos assim e quando se fixa o volume a ser armazenado igual ao volume demandado, garante-se que é possível armazenar a quantidade de água necessária para atender as necessidades de água pluvial, até que exista outra carga de água precipitada e coletada.

2.2.1 Volume de água armazenada

O volume de água precipitado é diferente do volume de água coletado e armazenado, devido a perdas por evaporação e fugas no sistema de captação. Para a determinação da quantidade aproximada de água precipitada que chega ao reservatório, é preciso a utilização de um coeficiente de escoamento, também citado por muitos autores como Coeficiente de Runoff. Este coeficiente adimensional varia de acordo com o tipo de cobertura da área de captação do sistema. Para fins de pesquisa, neste trabalho o fator de eficiência do sistema, a ser multiplicado pelo coeficiente de escoamento, foi considerado $\eta = 1$. O coeficiente de escoamento superficial utilizado foi $C = 0,8$, considerando que na região a maioria das edificações possui cobertura com telhas cerâmicas, conforme Tabela 2.2, proposta por Fendrich (2003).

Tabela 2.2 - Coeficientes de Escoamento Superficial

Tipo de Cobertura	Coeficiente de Escoamento Superficial
Telha cerâmica	0,80 a 0,90
Telhas de Lajota e Ladrilho Vitrificado	0,90 a 0,95
Telha Metálica Corrugada	0,80 a 0,95

Fonte: Fendrich, 2003.

A área de captação da edificação também está relacionada à quantidade de água que poderá ser armazenada para futura utilização. Esta área geralmente é formada pelas coberturas, ou telhados, das edificações. Neste trabalho, foi considerada uma edificação residencial unifamiliar hipotética com 200 m² de área construída e 150 m² de área de captação de água da chuva.

2.2.2 Demanda de água da chuva

A demanda de água pluvial é caracterizada como a quantidade, em volume, de água da chuva que é consumida pelos usuários da edificação. Portanto, está diretamente relacionada aos usos que se destinam esta água, ao número de usuários e frequência de uso.

Para o cálculo da demanda necessária de água não potável da edificação foi fixado o número de 4 habitantes, 2 carros e uma área de jardim de 200 m².

O valor estimado de demanda procura se aproximar ao máximo do valor real, para isto, foram utilizados valores para a previsão de consumo de água não potável indicada por Tomaz (2005). Assim sendo o valor da demanda de água da chuva para uma residência com 4 pessoas, conforme a Tabela 2.3, foi de 9.960 L de água por mês, sendo para cálculo de projeto, considerada uma demanda mensal final constante durante todo o ano hidrológico de 10 m³.

Tabela 2.3 - Cálculo da demanda de água pluvial

Uso da Água	Nº Uso por Mês	Volume (L)	Total Consumo (L)
Descarga Bacia Sanitária (4 pessoas)	150	12	7200
Mangueira de Jardim	12	130	1560
Lavação de Carros (2)	4	150	1200
		Total	9960

Fonte: A autora.

2.2.3 Método de Rippl

Segundo Dornelles; Tassi e Goldenfum (2010), este método é também conhecido como o diagrama de massa, pois é possível expressar graficamente ao longo de um ano hidrológico a curva de volumes médios mensais acumulados e confrontar com os valores de demanda para se chegar ao valor ideal de armazenamento sendo possível utilizar este método de forma gráfica ou analítica. Para Tomaz (2009), os valores encontrados na utilização do método de Rippl, são geralmente altos, mesmo assim é importante o seu desenvolvimento para que o projetista tenha o conhecimento de um valor extremo, o que auxiliará na avaliação do custo x benefício de implantação do sistema.

Na aplicação deste método, o volume de água precipitado que pode ser destinado ao reservatório é calculado mensalmente por meio da Equação 1.

$$Q = C * P * A / 1000 \quad (1)$$

Onde:

Q = volume aproveitável de água da chuva (m³);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

P = precipitação mensal (mm); A = área de captação (m²).

Na determinação do volume aproveitável não foi considerado volume de descarte da primeira chuva. Partiu-se do princípio que no mês de janeiro o reservatório está vazio, portanto para este mês e para os seguintes, é preciso calcular o volume de água restante no reservatório, subtraindo do volume aproveitável o valor da demanda mensal de água da chuva, dada a Equação 2.

$$S = D - Q \quad (2)$$

Em que:

S = volume de água pluvial restante no reservatório (m³);

D = demanda mensal de água pluvial (m³);

Q = volume aproveitável de água da chuva (m³).

Calcula-se “S” para todos os meses do ano, sendo que quando “S” assumir um valor negativo, ou seja, para $S < 0$, significa que o volume aproveitável de água precipitada foi maior do que a demanda. Ao passo que para os valores positivos, $S > 0$, a demanda mensal foi maior do que o volume aproveitável de água da chuva, onde, é preciso uma reserva de água para suprir a necessidade expressa pela demanda. Sendo assim, o volume final do reservatório é obtido pela Equação 3.

$$V = \Sigma (S > 0) \quad (3)$$

Onde:

V = volume final do reservatório (m³);

$S > 0$ representa o somatório dos valores positivos obtidos mensalmente durante uma unidade de ano hidrológico.

Nos casos em que durante os meses do ano, não foram obtidos valores positivos para “S” foi admitida a não aplicação do método, simbolizada por Não se Aplica – NA.

2.2.4 Método Australiano

O cálculo do volume de chuva aproveitável deste método é diferente dos outros métodos, pois considera uma perda de água que molha as superfícies, além das perdas consideradas pelo coeficiente de escoamento, conforme a Equação 4.

$$Q = A * C * (P - I)/1000 \quad (4)$$

Em que:

Q = volume aproveitável de água da chuva (m³);

A = área de captação (m²);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

P = precipitação mensal (mm); e

I = interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, conforme ABNT (2007) adotou-se $I = 2$ mm.

Parte-se do princípio que o reservatório está vazio, em seguida por meio de tentativas é determinado o volume final do reservatório utilizando-se a Equação 5.

$$V_t = V_{(t-1)} + Q - D \quad (5)$$

Em que:

V_t = volume final do reservatório (m^3) para o tempo t ;

$V_{(t-1)}$ = volume inicial de água no reservatório, ou volume do mês anterior $V_{(t-1)}$ para V_t ;

Q = volume aproveitável de água da chuva (m^3);

D = demanda mensal de água pluvial (m^3).

As tentativas devem convergir para um nível de confiança pertencente ao intervalo de 90 à 99%. Esta confiança é representada pela Equação 6.

$$Cf = 1 - \frac{Nr}{N} \quad (6)$$

Em que:

Nr = número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda;

N = número de meses considerados, neste trabalho foi realizado para 12 meses, ou seja, um ano.

2.2.5 Método da Simulação

De acordo com Rupp; Munarim e Ghisi (2011), este método é determinado através de um reservatório de volume pré-definido e no percentual de consumo o qual poderá atender. A ABNT (2007) recomenda que na aplicação deste método, não seja considerada a perda de água por evaporação, desta forma utiliza-se a Equação 1 para obter o volume aproveitável de água da chuva para cada mês do ano, assim como a Equação 7.

$$S_t = Q_t + S_{(t-1)} - D \quad (7)$$

Onde:

S_t = volume de água pluvial no reservatório (m^3) para o tempo t ;

Q_t = volume aproveitável de água da chuva (m^3) para o mês t ;

$S_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório (m^3) para o tempo $(t-1)$;

D = demanda mensal de água pluvial (m^3).

Em seguida, atendendo a condição $V \geq S(t) \geq 0$, determina-se um volume a ser reservado para o primeiro mês, neste caso, mês de janeiro. Conseqüentemente, quando esta condição for atendida ao longo de todo o ano, o volume determinado inicialmente será o volume do reservatório.

Contudo, em casos onde a condição não foi atendida nos 12 meses, foi definido outro valor, até que $V \geq S(t) \geq 0$ seja atendido para todos os meses do ano.

2.2.6 Método de Azevedo Neto

Mais conhecido como método prático brasileiro, este método utiliza o dado de precipitação anual, que diferentemente dos demais, considera os meses do ano com pouca chuva ou seca, de maneira que o volume final do reservatório é obtido através da aplicação da Equação 8.

$$V = 0,042 * P_a * A * T \quad (8)$$

Em que:

V = volume final do reservatório (m^3);

P_a = precipitação anual acumulada (mm);

A = área de captação (m^2);

T = valor numérico de meses de pouca chuva ou seca.

No desenvolvimento deste trabalho, foi considerado mês com pouca chuva ou seca o mês que teve valor de precipitação $P \leq 100$ mm, conforme adotado por Dornelles; Tassi e Goldenfum (2010).

2.2.7 Método Prático Inglês

Através do uso de uma única equação foi calculado o volume do reservatório pelo método prático inglês, que considera que 5% de todo o volume precipitado anual como sendo o tamanho do reservatório para águas pluviais, conforme Equação 9.

$$V = 0,05 * P_a * A \quad (9)$$

Em que:

V = volume final do reservatório (m³);

Pa = precipitação anual acumulada (mm);

A = área de captação (m²).

2.2.8 Método Prático Alemão

Este método empírico compara dois valores, o volume anual de consumo, ou seja, o valor da demanda de água pluvial anual e o volume anual de precipitação aproveitável acumulado. Para tanto, 6% do menor dos valores comparados, será o volume final do reservatório de água pluvial, conforme Equação 10.

$$V = \text{mín}(V_a; D_a) * 0,06 \quad (10)$$

Em que:

V = volume final do reservatório (m³);

Va = somatório dos volumes de precipitação mensal aproveitável, de janeiro a dezembro;

Da = demanda anual de água da chuva (m³).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os métodos apresentados no anexo “A” da norma ABNT NBR15527:2007 utilizados na elaboração deste trabalho foram os métodos de Rippl, da Simulação, Australiano, Azevedo Netto, Prático Inglês e Prático Alemão. Os três primeiros utilizam dados de precipitação mensal, o que fornece um maior nível de análise pontual em climas de sazonalidade pluviométrica, sendo que os demais métodos utilizam os dados de precipitação anual acumulada e o dimensionamento do reservatório é obtido com o uso de apenas uma equação.

A Tabela 2.4 apresenta os valores obtidos na aplicação dos 6 métodos de dimensionamento para reservatórios de água da chuva, propostos pela norma em vigor para as 12 localidades da região dos Campos Gerais do Paraná. Notou-se uma divergência entre os resultados obtidos para uma residência na mesma localidade, ou seja, utilizando dados idênticos, cada metodologia de cálculo apresentou um volume final específico. Bezerra et al (2010), comparando as mesmas metodologias como proposto pelo decreto municipal de Curitiba/PR 293/2006 (PARANÁ, 2006), também observaram que de maneira geral, os resultados foram discrepantes utilizando os diferentes métodos testados conforme sugestão da ABNT NBR15527:2007.

Tabela 2.4 - Valores de chuva acumulada anual (mm), estimativa dos reservatórios de água de chuva em m³ segundo os métodos Rippl (RIP), Prático Australiano (AUS), Simulação (SIM), Azevedo Netto (AZE), Prático Inglês (ING), Prático Alemão (ALE) e Média das estimativas válidas em m³ segundo os métodos utilizados

Localidade	Chuva	RIP	AUS	SIM	AZE	ING	ALE	Média
Campo do Tenente	1557,4	NA	10,0	NA	19,6	11,7	7,2	12,1
Campo Largo	1478,4	NA	15,0	NA	37,3	11,1	7,2	17,6
Cândido Abreu	1767,6	NA	10,0	NA	11,1	13,3	7,2	10,4
Castro	1486,9	NA	10,0	NA	18,7	11,2	7,2	11,8
Ivaí	1699,3	NA	10,0	NA	10,7	12,7	7,2	10,2
Jaguariaíva	1523,9	NA	10,0	NA	28,8	11,4	7,2	14,4
Lapa	1163,5	5,9	7,0	6,0	51,3	8,7	7,2	14,4
Ponta Grossa	1607,8	NA	10,0	NA	10,1	12,1	7,2	9,8
Rio Negro	1637,9	NA	10,0	NA	10,3	12,3	7,2	10,0
Sengés	1367,1	6,0	13,0	7,0	34,5	10,3	7,2	13,0
Telêmaco Borba	1619,3	NA	10,0	NA	20,4	12,1	7,2	12,4
Tibagi	1618,5	NA	10,0	NA	20,4	12,1	7,2	12,4

Fonte: A autora.

Ao dimensionar o reservatório utilizando o método de Rippl e o método da Simulação, na maioria dos casos não foi possível determinar o resultado final, pois para convergir em um resultado, o volume de água captado da chuva deve ser menor que a

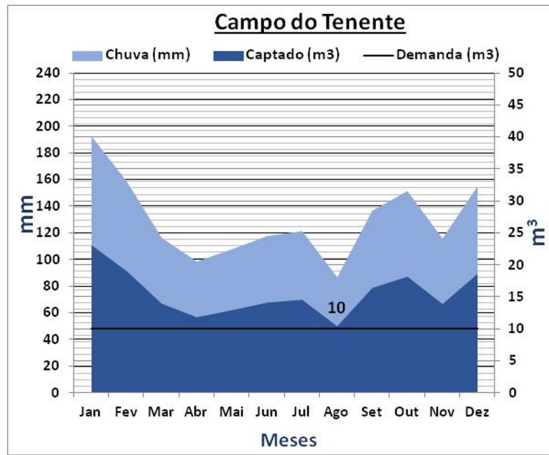
demanda mensal em pelo menos dois meses consecutivos. Portanto, somente nas cidades de Lapa e Sengés, onde existiram dois meses consecutivos em que as demandas foram maiores que as quantidades precipitadas (Figuras 2.4A e 2.4D), os dimensionamentos pelos métodos de Rippl e da Simulação foram possíveis. De certa forma, está de acordo com Dornelles; Tassi e Goldenfum (2010), que concluíram que o método de Rippl não é indicado para a região Sul do Brasil, pois o mesmo é válido somente para locais com período seco expressivo, ou seja, com grande amplitude de variação de quantidades precipitadas nos períodos secos e úmidos.

Nas localidades de Lapa e Sengés, em que foi possível o dimensionamento pelos métodos de Rippl e da Simulação, os valores apontados por ambos os métodos foram próximos, como pode ser observado na Tabela 2.4, tal que, para Lapa os valores encontrados foram de 5,9 e 6,0 m³ e para Sengés de 6,0 e 7,0 m³, respectivamente, podendo-se dizer que quando necessário, para estas localidades, os métodos convergem em valores aproximados. No entanto, Rupp; Munarim e Ghisi (2011) relatam que na aplicação do método de Rippl, obtiveram como resultado volumes de reservatórios superdimensionados em relação às outras metodologias propostas.

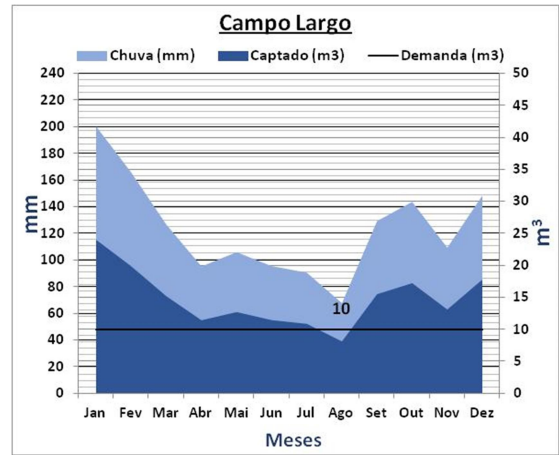
Diferentemente dos métodos de Rippl e da Simulação, o método Australiano se aplicou em todas as localidades e, como se trata de um modelo de cálculo numérico que converge por meio de tentativas, foi possível atender as condições da confiança do método, nos casos em que os métodos de Rippl e da Simulação não foram viáveis, e quando estipulado o volume do reservatório foi igual ao volume da demanda mensal. Este procedimento não garante uma economia no tamanho do reservatório, pois se observa que para as localidades de Lapa e Sengés, os métodos de Rippl e da Simulação apresentaram tamanhos de reservatório inferior em relação ao método Australiano.

Para os métodos que utilizam o valor de precipitação anual acumulada, Azevedo Neto, Prático Inglês e Prático Alemão, o dimensionamento foi possível em todas as localidades, independente da singularidade de seu regime pluviométrico. De acordo com o trabalho desenvolvido por Rupp; Munarim e Ghisi (2011), que compararam os métodos da ABNT NBR15527:2007, utilizando o software Netuno, nos casos onde a demanda é menor que o volume de água captada mensal e não é possível a aplicação dos métodos mensais, os métodos práticos (Azevedo Neto, Inglês e Alemão) são viáveis.

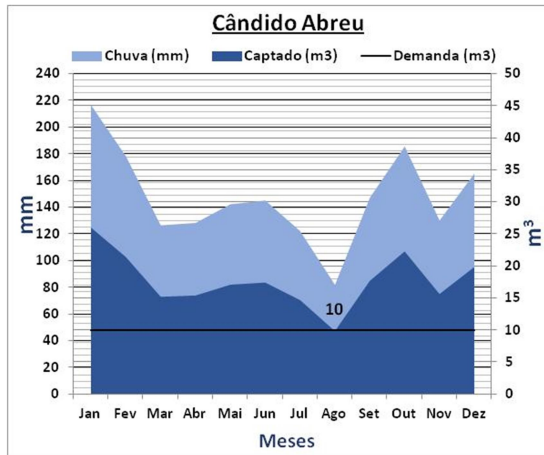
Figura 2.2 - Valores mensais de chuva (acumulado), volume captado e volume demandado para as localidades de Campo do Tenente (A), Campo Largo (B), Cândido Abreu (C), Castro (D), Ivaí (E) e Jaguariaíva (F).



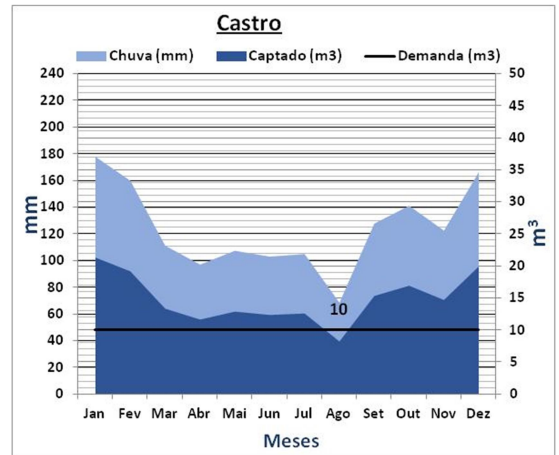
(A)



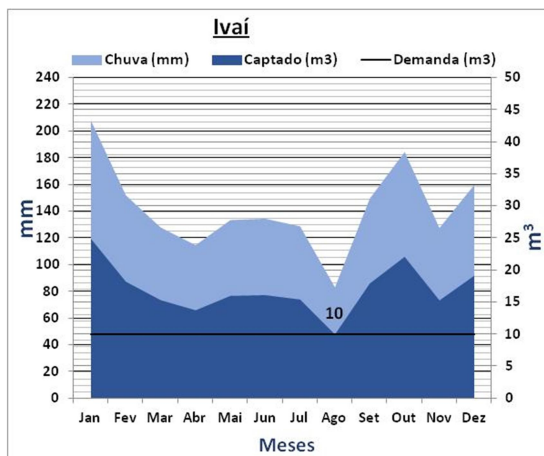
(B)



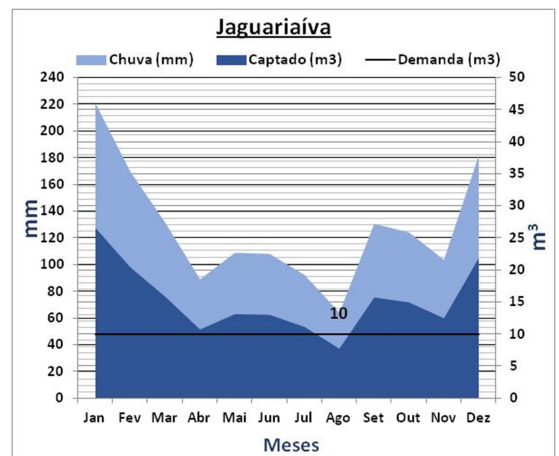
(C)



(D)



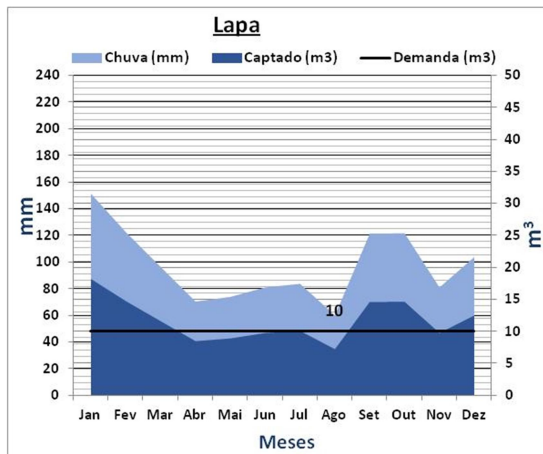
(E)



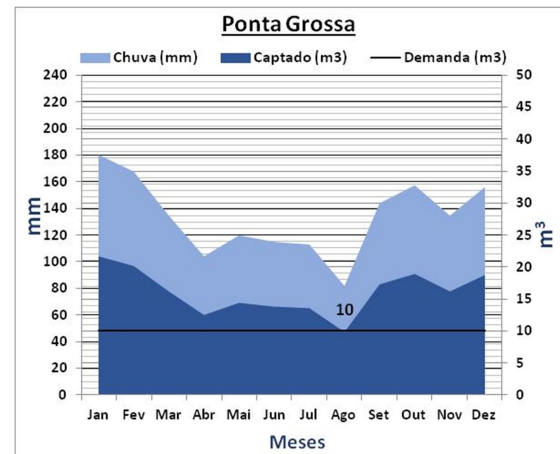
(F)

Fonte: A autora.

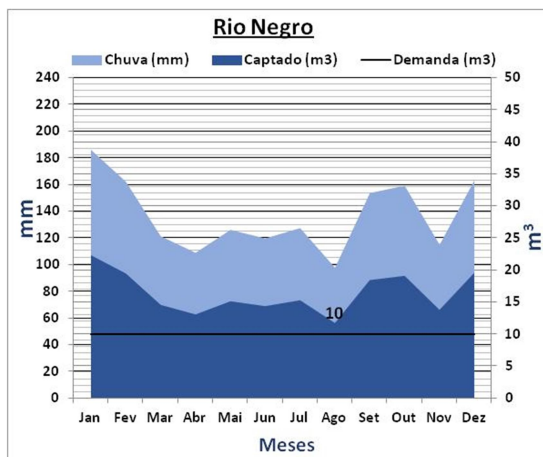
Figura 2.3 - Valores mensais de chuva (acumulado), volume captado e volume demandado para as localidades de Lapa (A), Ponta Grossa (B), Rio Negro (C), Sengés (D), Telêmaco Borba (E) e Tibagi (F).



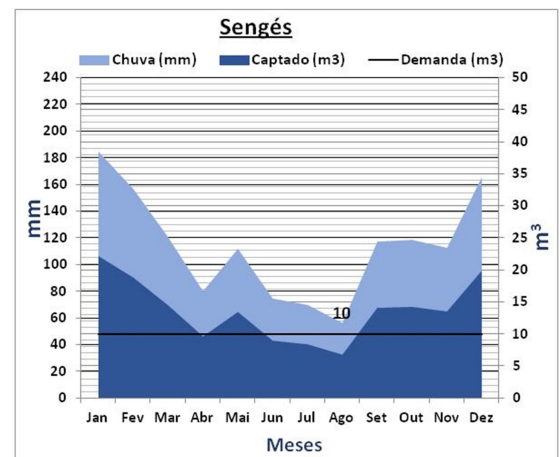
(A)



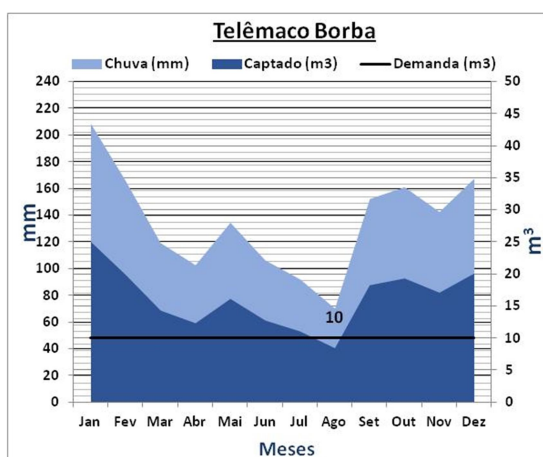
(B)



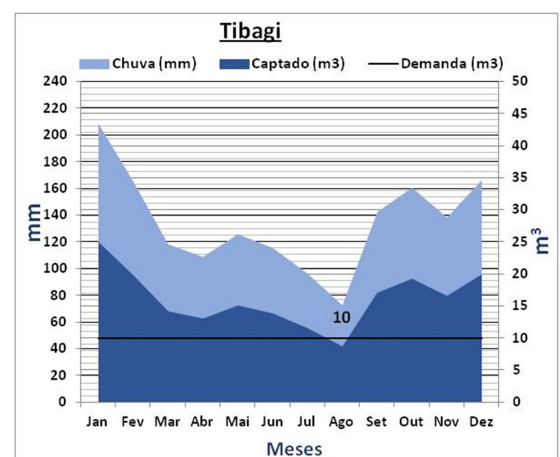
(C)



(D)



(E)



(F)

Fonte: A autora.

Comparando os resultados dos métodos em todas as localidades (Tabela 2.4), percebe-se que a localidade de Lapa foi a que apresentou tanto o valor mínimo ($5,9 \text{ m}^3$)

quanto o valor máximo ($51,3 \text{ m}^3$) no dimensionamento do reservatório para água da chuva, utilizando os métodos de Rippl e de Azevedo Neto, respectivamente. Este fato deixa claro a necessidade de se aplicar mais de um método proposto pela norma, pois como neste caso, para a localidade de Lapa foram obtidos valores com diferenças de até 8,7 vezes.

Amorim e Pereira (2008) também concluíram, que o método de Azevedo Neto (também conhecido como método Prático Brasileiro) e o Prático Inglês podem estimar valores muito discrepantes quando comparados com outros métodos. Os autores sugerem que ambos os métodos são melhor aplicáveis para regiões onde é preciso estocar água durante um grande período de seca ou para a maior parte do ano.

Dornelles; Tassi e Goldenfum (2010) também encontraram maiores volumes de dimensionamento quando aplicaram o método de Azevedo Neto, para os locais que apresentam maior período seco, igualmente neste trabalho, onde as localidades de Lapa e Sengés apresentaram as menores quantidades de chuva em algum período na região dos Campos Gerais, que inclusive foram inferiores 100 mm. Como este método considera os meses menos chuvosos, conforme o método de Azevedo Neto proposto na NBR15527:2007, é preciso reservar 4,2% do total precipitado anual possível de ser captado, multiplicado pelo número de meses de seca ou pouca chuva. Assim sendo, a área de captação do sistema e o número de meses secos possuem grande peso na determinação final do reservatório.

As localidades de Telêmaco Borba e Tibagi, possuem regimes pluviométricos semelhantes, como pode ser constatado nas Figuras 2.4E e 2.4F, inclusive os valores acumulados de chuva nestas localidades são próximos (Tabela 2.4). Diante disto, os dimensionamentos aplicados para estas duas localidades resultaram em valores iguais em todos os métodos, sendo o maior valor dado pelo método de Azevedo Neto ($20,4 \text{ m}^3$) e o menor pelo método Prático Alemão ($7,2 \text{ m}^3$).

Com exceção das duas localidades onde foi possível o dimensionamento utilizando os métodos de Rippl e da Simulação, o método Prático Alemão resultou no menor reservatório dimensionado de todos os métodos aplicados, nas outras dez localidades. Em Dornelles; Tassi e Goldenfum (2010) também foram obtidos, semelhantemente, resultados mínimos na aplicação deste método. Como se constata na Tabela 2.4, o valor mínimo ($7,2 \text{ m}^3$) encontrado se apresentou constante para todas as localidades avaliadas. Esta metodologia de cálculo, conforme indicada pela ABNT NBR15527:2007, é baseada na escolha do menor valor entre a quantidade de chuva anual precipitada e a demanda anual necessária de água da chuva. Segundo este método, o tamanho do reservatório em volume deverá ser de 6% do menor dos dois valores acima citados. Contudo, neste trabalho, o valor constante encontrado

no uso desta metodologia de cálculo equivale aos 6% de 10 m^3 vezes doze meses do ano, número este que foi em todos os casos menor do que o volume anual demandado.

Como pode ser visto nas Figuras 2.3 e 2.4, o regime pluviométrico das localidades abordadas neste estudo foi semelhante, em função de se tratarem de localidades com características semelhantes e localizadas na mesma região. É possível observar que no mês de agosto, todas apresentaram a quantidade de água precipitada menor que nos outros meses do ano, que é uma característica do ciclo hidrológico da região, que tem o inverno um período de maior estiagem que o verão, ou seja, seguindo a classificação de Köppen como um clima tipo Cfb, o que significa verões frescos e sem períodos de seca definidos ao longo do ano.

A localidade de Cândido Abreu pode ser observada na Figura 2.3C, como a localidade que possui os maiores valores de precipitação. No entanto, os métodos de dimensionamento aplicados não resultaram em valores máximos ou mínimos, não sendo possível a relação entre quantidade de água precipitada com o tamanho de reservatório. Somente utilizando o método Prático Inglês, foi que nesta localidade o valor da precipitação acumulada é o maior e, o resultado do dimensionamento igualmente maior quando comparado com as demais localidades.

Observou-se que, na comparação dos métodos indicados pelo Anexo “A” da ABNT-NBR15527:2007 foram encontradas grandes diferenças entre os resultados finais. Para Dornelles; Tassi e Goldengum (2010), em estudo semelhante, também não foi possível a determinação de um volume ótimo para cada local, visto que não foram utilizadas funções de restrição, como por exemplo, o custo de construção do reservatório.

As localidades que apresentaram os resultados mais próximos, como mostra a Tabela 2.4, considerando os métodos Australiano, Azevedo Neto e Inglês foram Ponta Grossa, Rio Negro e Ivaí. A localidade que resultou em maior discrepância entre os resultados obtidos, foi Lapa, conforme comentado anteriormente. Na localidade de Campo Largo, os resultados foram discrepantes, sendo que para esta localidade o método Australiano apresentou o maior valor ($15,0 \text{ m}^3$) de todas as localidades, o método Azevedo Neto resultou num reservatório com o dobro ($37,3 \text{ m}^3$) do tamanho do indicado pelo Australiano e o segundo maior de todas as localidades conforme os métodos aplicados.

Sendo assim, o projetista ao apontar o melhor resultado, precisa embasar sua escolha justificando aspectos de custo, eficiência, decisão do proprietário ou até mesmo levar em consideração fatores como o tamanho do terreno, benefícios ambientais envolvidos, pois como os métodos não convergem, outras variáveis podem ser consideradas na determinação da metodologia de cálculo a ser considerada. Assim, como concluíram Bezerra et al. (2010), a

decisão final pelo método mais adequado pode ser baseada na comparação dos métodos e de diversos fatores, como o custo de construção do reservatório e a área disponível, que representam geralmente as maiores restrições na construção do sistema de captação de água de chuva.

Do ponto de vista do custo da construção do sistema, talvez uma alternativa interessante fosse estimar o volume do reservatório usando todos os métodos e utilizar um valor médio como decisão final. Observa-se na Tabela 2.4 que quando se calcula a média das estimativas, os volumes não ficam tão discrepantes, pois neste trabalho, os maiores volumes de reservatório estimados seria o de Campo Largo (17,6 m³) e o menor o de Ponta Grossa (9,8 m³). No entanto, uma diretriz em nível municipal em localidades propícias a pouca eficiência de drenagem pluvial, e, conseqüentemente, inclinada a eventos de alagamentos e enchentes, reservatórios maiores reduziriam o escoamento superficial direcionado para os sistemas de tubulação de águas pluviais, bem como para o leito de rios e lagos.

2.4 CONCLUSÃO

Concordando com os resultados da literatura consultada, pode-se concluir nesta pesquisa, que os métodos da norma ABNT-NBR 15527:2007 não convergem entre si e, além disso, apresentam grande nível de discrepância entre eles, sendo preciso a determinação de outras variáveis de maior importância na escolha do tamanho do reservatório do que o método de dimensionamento em si.

Embora na região dos Campos Gerais do Paraná o regime pluviométrico das localidades que a integram sejam semelhantes, foi possível observar que em alguns locais a escolha do método pode implicar num alto custo de implantação do reservatório para captação de água de chuva, como se verificou com a utilização do método de Azevedo Neto.

No entanto, se for levado em consideração o custo de implantação do reservatório num dado local, utilizar alguns métodos e decidir pela média das estimativas, pode ser uma alternativa interessante. Porém, em localidades sujeitas a insuficiência de escoamento hídrico, reservatórios com maiores volumes, podem auxiliar na contenção hídrica pluvial, que será lançada nos sistemas de tubulação de águas de chuva, minimizando assim o risco de eventos ambientais adversos como enchentes e alagamentos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva: aproveitamento em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conservação e Reúso de Água em Edificações**. 2. ed. São Paulo: ANA; FIESP; SINDUSCON-SP, 2006.
- AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo Comparativo dos Métodos de Dimensionamento para Reservatórios Utilizados em Aproveitamento de Água Pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, abr./jun. 2008.
- BERTOLDI, L.; PINHEIRO, I. G.; PINHEIRO, A. Volumes e eficiências de reservatórios para aproveitamento de água de chuva no estado de Santa Catarina – Brasil. **REA - Revista de Estudos Ambientais**, v. 14, n. 4, p. 56-66, jul./dez. 2012.
- BEZERRA, S. M. C. et al. 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**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 219-231, out./dez. 2010.
- DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J.A. Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 2, p. 59-68, abr./jun. 2010.
- FENDRICH, R. Aplicabilidade do armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 52, p. 97-114, jun. 2003.
- GHISI, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**, v. 41, p. 1544-1550, 2006.
- HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Coleção Ingenium, Belo Horizonte: UFMG, 2006. 859p.
- INÁCIO, A. R. et al. Dimensionamento de um sistema de captação de água pluvial para uso doméstico em São Bernardo do Campo-SP. **InterfACHES – Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 8, n. 2. p. 40-62, 2013.
- IBGE. **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA**. Município de Ponta Grossa. 2014. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/ponta-grossa/panorama>>. Acesso em 10 out. 2015.
- KRISHNA, H. J.; PHILIPS, A.; POPE, T. **Rainwater Harvesting and Stormwater Recycling**. ASLA (American Society Landscape Architects), Annual Meeting, 2002.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 4.ed. Ponta Grossa: UEPG, 2012. 526p

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C.; CARVALHO, G. S. Volume do reservatório de aproveitamento de água pluvial baseado no conceito do balanço de vazões para uma residência unifamiliar. **Publicatio UEPG Exact and Earth Sciences, Agrarian Sciences and Engineering**, v. 14, n. 3, p. 217-227, 2008.

PARANÁ. **Decreto n. 2010 de 28 de julho de 2015**. Tabela de Tarifas de Saneamento Básico. Diário Oficial do Paraná, Edição n. 9503, 29/07/2015. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/sites/site.sanepar.com.br/files/clientes2012/decretotabelaset2015.pdf>>. Acesso em: 26 jan. 2016.

PARANÁ. **Decreto n. 293 de 22 de março de 2006**. Regulamenta a Lei nº 10.785/03 e dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/decreto/2006/30/293/decreto-n-293-2006-regulamenta-a-lei-n-10785-03>>. Acesso em: 26 jan 2016.

RUPP, R. F.; 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.

SOUZA, L. A. F. Metodologia para determinação da capacidade de reservação do sistema de aproveitamento de água da chuva. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 5, n. 2, p. 140-153, 2013.

TOMAZ, P. Aproveitamento da Água de Chuva: **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. 2. ed. São Paulo: Editora Navegar, 2005. 180p.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. **Oceania**, v. 65, n. 4, p. 5, 2009.

SHIKLOMANOV, I.A. **World Water Resources. A new appraisal and assessment for the 21st century**. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 1998. Disponível em : <<http://www.ce.utexas.edu/prof/mckinney/ce385d/papers/shiklomanov.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

YOSHINO, G. H. **O aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na cidade universitária Professor José da Silveira Netto - Belém/PA**. 2012, 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.

CAPÍTULO 3

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NO DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DE CHUVA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS NA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS DO PARANÁ

RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar os impactos das alterações climáticas sobre o dimensionamento de reservatórios de sistemas de abastecimento de água da chuva da região dos Campos Gerais do Paraná. Assim, foram projetados cenários climáticos futuros considerando a melhor e a pior estimativa de mudanças do clima até o final do século. Para tanto foi utilizado o software PGECLIMA_R para simular séries de dados de precipitação nos períodos 2039, 2069 e 2099. Utilizando estes dados procedeu-se o dimensionamento dos reservatórios sob quatro diferentes métodos de cálculo, sendo eles Rippl, Simulação, Azevedo Neto e Prático Inglês. Foi possível observar que em geral os métodos Rippl e Simulação tendem a diminuir o tamanho do reservatório frente ao aumento da precipitação, enquanto os métodos de Azevedo Neto e Inglês aumentam em média, os tamanhos dos reservatórios quando elevado os níveis de precipitação. Devido à elevação das quantidades de precipitação previstas até o final do século, para ambos os cenários, justifica-se a utilização do reservatório de água pluvial em edificações não apenas para abastecer a sua demanda de projeto, mas também para colaborar na contenção do excesso de água proveniente de grandes eventos climáticos como fortes e intensas chuvas, evitando picos de vazão em córregos e corpos hídricos em geral.

Palavras-chave: Captação de águas pluviais. Alterações climáticas. Dimensionamento de reservatório. NBR 15527:2007.

CHAPTER 3

IMPACT OF GLOBAL CLIMATE CHANGES ON THE SIZING OF RAINWATER RESERVOIRS IN RESIDENTIAL BUILDINGS IN THE REGION OF THE GENERAL FIELDS IN PARANÁ

ABSTRACT

This paper objective was to evaluate the climate changes impacts over the sizing of reservoir from harvesting systems in the Region of the General Fields in Paraná. To the development were projected future climate scenarios considering the best and the worst estimate of climate change by the end of the century and using the software PGECLIMA_R to simulate rainfall data series for the periods 2039, 2069 and 2099. With these series, proceeded to the tank size determination under four different methods of calculation, being Rippl, Simulation, Azevedo Neto and Practical English. It was observed that in general the Rippl and Simulation methods tend to decrease the size of the tank with the increased precipitation, while the methods of Azevedo Neto and English increase in average, the tanks size under the high levels precipitation. Due to the increase in rainfall amounts expected to the end of the century, for both scenarios, justified the use of rainwater reservoir on residences not only to supply your project demand, but also to collaborate with the rainwater containment, avoiding peak flows, overflow on drainage systems and floods.

Keywords: Rainwater harvesting systems. Climate change. Rainwater reservoir sizing. NBR 15527: 2007.

3.1 INTRODUÇÃO

A água é um dos principais recursos naturais, já que permite a sobrevivência da vida e se torna fundamental para o desenvolvimento econômico e social de uma região. São vários os usos dos recursos hídricos, como uso doméstico, irrigação, uso industrial e hidroeletricidade (TUNDISI, 2003).

Diante do aumento populacional, do processo de urbanização e conseqüentemente da demanda hídrica o acesso à água de boa qualidade se torna cada vez mais difícil. Neste sentido, a utilização de água da chuva como fonte alternativa de consumo para fins não potáveis é uma técnica milenar e, sua aplicação em edificações possibilita não apenas a economia de água potável, mas também reduz o risco de cheias provocadas por fortes chuvas em ambientes urbanos (TOMAZ, 2005).

Segundo Mierzwa et al. (2007), o aproveitamento de águas pluviais é uma opção para diminuir o problema de escassez hídrica nas áreas urbanas e ainda reduzir os custos gerados pelo consumo de água fornecida pelas companhias de tratamento e distribuição. Para que se possa utilizar a água da chuva em edificações é preciso à construção de um reservatório para tal, sendo que dentre os componentes do Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva – SAAC, que envolve a captação, os componentes de transporte e o reservatório, este último é um dos itens mais onerosos na implantação do SAAC (AMORIM; PEREIRA, 2008), cujo dimensionamento é fundamental para que se possa atender a demanda da residência e paralelamente promover uma economia no uso da água potável.

Para dimensionar o reservatório do SAAC de maneira a garantir sua eficiência e atender a demanda de forma econômica, o projetista deve levar em conta o regime pluviométrico da região. Sendo assim, diante da influência da distribuição da chuva na determinação do tamanho do reservatório para o SAAC, o processo de dimensionamento do mesmo deve utilizar dados pluviométricos históricos obtidos a partir de estações meteorológicas (DORNELLES; TASSI; GOLDENFUM, 2010), pois estes dados históricos fornecem ao projetista as características particulares do regime pluvial de cada região, que são informações necessárias para o dimensionamento adequado do SAAC. Desta forma, a alteração do regime pluviométrico ao longo do tempo poderá ter efeitos sobre o uso, assim como sobre a eficiência do reservatório de um SAAC.

As mudanças climáticas globais estão sendo apontadas como agente modificador no comportamento da temperatura do ar e precipitação pluviométrica. Esta variabilidade no clima poderá acarretar em alterações na disponibilidade hídrica, aumentando a necessidade de

fontes alternativas de água (SILVA; NÓBREGA; GALVÍNCIO, 2009). Neste sentido, as alterações climáticas previstas que impactam o regime pluviométrico regional devem ser consideradas no processo de dimensionamento do reservatório do SAAC, a fim de otimizar o aproveitamento de água de chuva.

Para Nobre (2011) as mudanças climáticas globais decorrentes do acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera, ou seja, da atividade antrópica, representam um desafio sem precedentes para a humanidade. O autor justifica o alarme por dois principais fatores, que é a velocidade com que está ocorrendo e as consequências que estas acarretam para as atividades humanas. As alterações climáticas provocadas pela atividade humana são uma das atuais ameaças ao desenvolvimento sustentável e colocam em risco o equilíbrio natural e a segurança de uma grande parte da população (BORREGO et al., 2010).

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC em seu quinto relatório (IPCC, 2014), o aumento da temperatura é inquestionável, uma vez que desde a década de 1950 são observadas estas alterações do clima, que mostram evidências indiretas de uma futura mudança na evaporação dos oceanos e, por conseguinte, no ciclo global da água.

No Brasil, o organismo científico, que buscar reunir, sintetizar e avaliar as informações científicas relevantes sobre os impactos das alterações climáticas do país é o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC, que foi criado em 2009. Em seu Primeiro Relatório de Avaliação Nacional – RAN1, publicou previsões para a região da Mata Atlântica, porção Sul/Sudeste de que em até 2040 haverá um aumento relativamente baixo de temperatura entre 0,5 e 1,0 °C, com um aumento de 5% a 10% nos níveis de precipitação. Para o período de 2041 até 2070 a previsão de aumento de temperatura de 1,5 a 2,0 °C e aumento de 15% a 20% nas chuvas. Enquanto para o final do século, que compreende o período de 2071 a 2100, as tendências de aumento se acentuam trazendo projeções de aumento de temperatura entre 2,5 a 3,0 °C e, os níveis de precipitação devem aumentar em torno de 25 a 30% para a região que compreende a Mata Atlântica Sul, onde está situado os Campos Gerais do Paraná (PBMC, 2014).

Diante disto, espera-se que a projeção de cenários climáticos auxilie na determinação do tamanho ideal do reservatório de um SAAC, apontando a quantidade de água possível a ser armazenada ao longo do tempo, optando por uma metodologia de dimensionamento do reservatório que melhor se adapte às condições atuais e previstas, baseado no regime de chuva e na demanda do consumidor. Isto foi verificado em um trabalho realizado por Haque; Rahman; Samali (2016) para cinco localidades da Austrália, onde foi avaliado o desempenho

de um SAAC sob as alterações climáticas previstas, cujos resultados indicaram que a redução da precipitação pluvial tornará os reservatórios dimensionados nos dias atuais incapazes de suprir a demanda futura.

Na projeção de cenários climáticos futuros, muitas pesquisas envolvendo mudanças climáticas, utilizam de geradores estocásticos do clima, que segundo Semenov (2008) são modelos que geram padrões meteorológicos diários estatisticamente semelhante aos padrões dos dados históricos, que de acordo com Virgens Filho et al. (2013), promovem uma interação de natureza probabilística do clima com componentes de outros sistemas de natureza hidrológica.

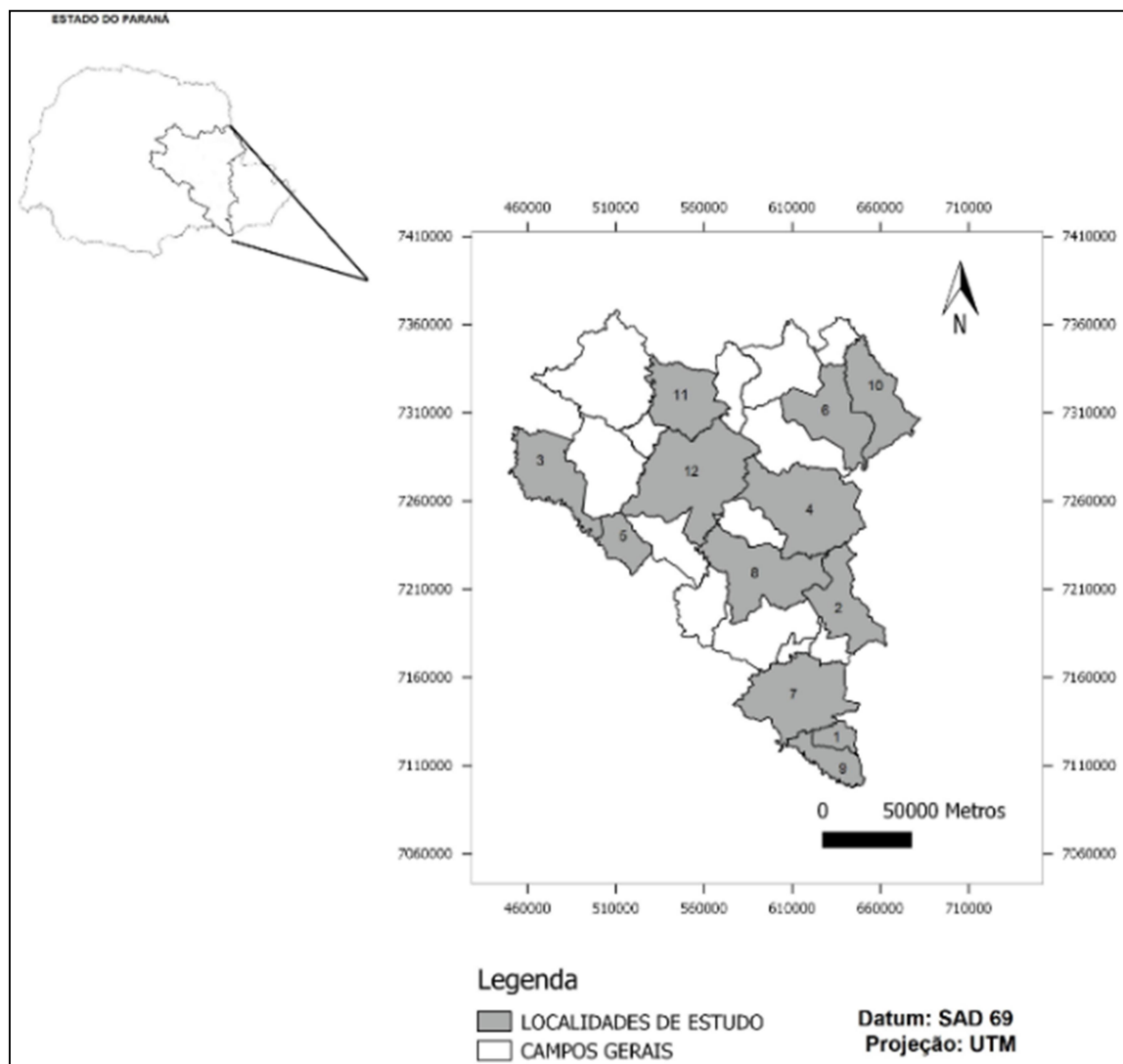
Vários geradores de dados climáticos foram propostos com intuito de simular sequências diárias de variáveis climáticas para as mais diversas aplicações, os quais se destacam o CLIGEN (NICKS; HARP, 1980), o WGEN (RICHARDSON; WRIGHT, 1984), o LARS-WG (SEMENOV; BARROW, 1997), sendo que no Brasil destacam-se o GEPAC (VIRGENS FILHO, 1997), o SEDAC_R (VIRGENS FILHO, 2001), o CLIMABR (OLIVEIRA; ZANETTI; PRUSKI, 2005) e mais recentemente o PGECLIMA_R (VIRGENS FILHO et al., 2013) que em uma recente pesquisa realizada no setor florestal por Melo et al. (2015), simulou cenários climáticos futuros para o Estado do Paraná.

Assim sendo, tendo em vista as previsões climáticas alarmantes prognosticadas para acontecer ao longo do século XXI, fica evidente a importância de estudos que avalie o dimensionamento de reservatórios de água em diversos cenários climáticos futuros, analisando seus resultados e possíveis impactos nas edificações residenciais com SAAC. Neste sentido, este trabalho objetivou o dimensionamento do reservatório de um SAAC para edificações residenciais na região dos Campos Gerais do Paraná, a partir de projeções de cenários climáticos futuros, baseados nos prognósticos do IPCC, que serão simulados pelo gerador de dados climáticos PGECLIMA_R.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada-LECA da Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG, que está inserida na região dos Campos Gerais, que se localiza na porção centro-leste do Estado do Paraná com extensão de 11.761,41 km², situada entre as coordenadas 23°45' e 26°15' de latitude sul e 49°15' e 50°45' de longitude oeste, dando continuidade ao estudo desenvolvido no primeiro capítulo, a região abrangente deste trabalho trata-se da Região dos Campos Gerais, conforme mostra a Figura 3.1.

Figura 3.1 - Localização da Região dos Campos Gerais do Paraná



Fonte: Elaborado por Gabriela Leite Neves. Base vetorial: IBGE 2014.

De acordo com Maack (2012), a região dos Campos Gerais do Paraná é definida como uma região fitogeográfica que compreende os campos limpos e campos cerrados

naturais situados sobre o Segundo Planalto Paranaense e, de acordo com a classificação climática de Köppen, tem predominância do clima tipo Cfb (Clima temperado com verão ameno).

Segundo Melo; Moro e Guimarães (2007) a Região dos Campos Gerais abrange pelo menos 22 (vinte e dois) municípios, porém devido à disponibilidade dos dados de clima em função do período das séries históricas (mínimo de 30 anos) apenas 12 (doze) municípios foram analisados. A Tabela 3.1 apresenta as coordenadas geográficas das estações climatológicas assim como a origem e período dos dados termopluiométricos.

Tabela 3.1 – Coordenadas geográficas das estações climatológicas utilizadas neste trabalho

Localidade	Latitude	Longitude	Altitude	Origem	Período
1 Campo do Tenente	- 25° 59'	- 49° 41'	780	ANA	1981-2013
2 Campo Largo	- 25° 25'	- 49° 23'	895	ANA	1984-2013
3 Candido Abreu	- 24° 50'	- 51° 09'	550	ANA	1980-2013
4 Castro	- 24° 46'	- 50° 04'	975	ANA	1980-2013
5 Ivaí	- 25° 01'	- 50° 51'	808	ANA	1980-2013
6 Jaguariaiva	- 24° 14'	- 49° 42'	923	ANA	1980-2013
7 Lapa	- 25° 47'	- 49° 46'	910	IAPAR	1988-2009
8 Ponta Grossa	- 25° 08'	- 50° 09'	790	ANA	1980-2013
9 Rio Negro	- 26° 06'	- 49° 48'	824	ANA	1981-2013
10 Sengés	- 23° 58'	- 49° 31'	600	ANA	1975-2003
11 Telêmaco Borba	- 24° 20'	- 50° 37'	768	IAPAR	1980-2009
12 Tibagi	- 24° 30'	- 50° 24'	720	ANA	1980-2013

Com o intuito de comparar o dimensionamento do reservatório do SAAC ao longo do tempo e considerando as alterações climáticas, foram realizadas simulações de séries climáticas futuras, utilizando para tanto a ferramenta PGECLIMA_R¹, que nas simulações considerou dois cenários baseados nas projeções do quinto relatório do IPCC (IPCC, 2014) e também do RAN1 (PBMC, 2014). Segundo este relatório existe uma relação entre o aumento da temperatura do ar e a elevação dos níveis de precipitação pluvial para a região estudada, onde para cada grau Celsius de aumento na temperatura do ar, há um aumento médio de 10%

¹ O PGECLIMA_R- Gerador Estocástico de Cenários Climáticos é um software desenvolvido pelo Laboratório de Estatística Computacional e Aplicada da Universidade Estadual de Ponta Grossa-UEPG, que proporciona entre outras funcionalidades a possibilidade de criação de cenários climáticos, por meio da simulação de séries climatológicas diárias de precipitação pluviométrica, temperatura do ar (máxima e mínima), umidade relativa do ar e radiação solar global. Para tanto, na sua concepção, o PGECLIMA R foi projetado com métodos probabilísticos e estatísticos, que tem como entrada para o seu funcionamento, dados históricos (dados coletados) de estações climatológicas e/ou meteorológicas, que passam por triagem automática quando da importação dos dados. Geralmente, para a criação de cenários climáticos, as séries de dados históricos são submetidas a perturbações estatísticas, que alteram seus valores médios (média) e/ou a variabilidade (desvio padrão). O PEGCLIMA_R também faz preenchimento de falhas de dados, disponibilizando ainda uma solução para validação estatística dos dados simulados.

na quantidade de precipitação pluvial. Esta relação também foi estabelecida por Pyke (2005), que associou uma variação de 10 % na precipitação, seja para queda ou elevação, para cada grau Celsius variado para mais ou para menos, respectivamente.

Sendo assim, no primeiro cenário (C1) considerou um aumento progressivo para o final do século de 1,7 °C na temperatura do ar, conforme o relatório do IPCC em sua melhor perspectiva, e conseqüentemente, um aumento de 17 % nos níveis de precipitação. Já no segundo cenário (C2), no pior prognóstico, pode ocorrer um aumento de 4,8 °C na temperatura do ar, que conseqüentemente sugere o incremento de 48 % da precipitação, até o final do ano de 2099.

Para uma melhor análise desse aumento progressivo da temperatura do ar e conseqüentemente da precipitação pluvial, foram simulados os dados pluviométricos para três períodos até o final do século XXI, balizados temporalmente no anos 2039, 2069 e 2099. A partir desses dados simulados foi realizado o dimensionamento de reservatórios de SAAC para uma edificação residencial unifamiliar de 4 pessoas, de forma a avaliar os volumes finais obtidos, de acordo com cada cenário futuro simulado, bem como analisar o impacto que estas alterações climáticas podem causar na utilização da reserva de água pluvial.

Os métodos para dimensionamento de reservatório de SAAC utilizados neste trabalho foram Rippl, Simulação, Azevedo Neto e Inglês os quais estão indicados no apêndice da Norma Brasileira Regulamentadora - NBR15527 Água de chuva: aproveitamento em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos (ABNT, 2007). Esses métodos citados na NBR15527/07 podem ser subdivididos em dois grandes grupos, aqueles que utilizam os dados de precipitação pluvial mensal e os que utilizam o valor acumulado, de precipitação pluvial anual.

3.2.1 Métodos de dimensionamento que utilizam dados mensais de precipitação

3.2.1.1 Método de Rippl

Na aplicação deste método, o volume de água precipitado que pode ser destinado ao reservatório é calculado mensalmente, através da Equação 1.

$$Q = C * P * A / 1000 \quad (1)$$

Em que:

Q = volume aproveitável de água da chuva (m^3);

C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

P = precipitação mensal (mm); A = área de captação (m^2).

Na determinação do volume aproveitável não foi considerado volume de descarte da primeira chuva. Partiu-se do princípio que no mês de janeiro o reservatório está vazio, portanto para este mês e para os seguintes, é preciso calcular o volume de água restante no reservatório, subtraindo do volume aproveitável o valor da demanda mensal de água da chuva, dada a Equação 2.

$$S = D - Q \quad (2)$$

Em que:

S = volume de água pluvial restante no reservatório (m^3);

D = demanda mensal de água pluvial (m^3);

Q = volume aproveitável de água da chuva (m^3).

Calcula-se “ S ” para todos os meses do ano, quando “ S ” assumir um valor negativo, ou seja, para $S < 0$ significa que o volume aproveitável de água precipitada foi maior do que a demanda. Ao passo que para os valores positivos, $S > 0$, a demanda mensal foi maior do que o volume aproveitável de água da chuva, onde, é preciso uma reserva de água para suprir a necessidade expressa pela demanda. Assim sendo, o volume final do reservatório é obtido pela Equação 3.

$$V = \Sigma (S > 0) \quad (3)$$

Em que:

V = volume final do reservatório (m^3);

$S > 0$ representa o somatório dos valores positivos obtidos mensalmente durante uma unidade de ano hidrológico.

Nos casos em que durante os meses do ano, não foram obtidos valores positivos para “ S ” foi admitida a não aplicação do método, simbolizada por Não se Aplica – NA.

3.2.1.2 Método da Simulação

De acordo com Rupp et al (2011), este método é determinado através de um reservatório de volume pré-definido e no percentual de consumo o qual poderá atender.

A ABNT (2007) recomenda que na aplicação deste método, não seja considerada a perda de água por evaporação, desta forma utiliza-se a Equação 1 para obter o volume aproveitável de água da chuva para cada mês do ano e posteriormente aplica-se a Equação 4.

$$S_t = Q_t + S_{(t-1)} - D \quad (4)$$

Em que:

S_t = volume de água pluvial no reservatório (m^3) para o tempo t ;

Q_t = volume aproveitável de água da chuva (m^3) para o mês t ;

$S_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório (m^3) para o tempo $(t-1)$;

D = demanda mensal de água pluvial (m^3).

Em seguida, atendendo a condição $V \geq S(t) \geq 0$, determina-se um volume a ser reservado para o primeiro mês, neste caso, mês de janeiro. Conseqüentemente, quando esta condição for atendida ao longo de todo o ano, o volume determinado inicialmente será o volume do reservatório.

Contudo, em casos onde a condição não foi atendida nos 12 meses, foi definido outro valor, até que $V \geq S(t) \geq 0$ seja atendido para todos os meses do ano.

3.2.2 Métodos de dimensionamento que utilizam dados anuais de precipitação pluvial

3.2.2.1 Método de Azevedo Neto

Mais conhecido como método prático brasileiro, este método utiliza o dado de precipitação anual, o que este método diferentemente dos demais, considera os meses do ano com pouca chuva ou seca. De maneira que o volume final do reservatório é obtido através da aplicação da Equação 8.

$$V = 0,042 * P_a * A * T \quad (8)$$

Em que:

V = volume final do reservatório (m³);

Pa = precipitação anual acumulada (mm);

A = área de captação (m²);

T = valor numérico de meses de pouca chuva ou seca.

No desenvolvimento deste trabalho, foi considerado mês com pouca chuva ou seca o mês que teve valor de precipitação $P \leq 100$ mm, conforme adotado por Dornelles; Tassi e Goldenfum (2010).

3.2.2.2 Método Prático Inglês

Através do uso de uma única equação foi calculado o volume do reservatório pelo método prático inglês, que considera que 5% de todo o volume precipitado anual como sendo o tamanho do reservatório para águas pluviais. Conforme Equação 9.

$$V = 0,05 * P_a * A \quad (9)$$

Em que:

V = volume final do reservatório (m³);

Pa = precipitação anual acumulada (mm);

A = área de captação (m²).

O dimensionamento utilizando as metodologias de Azevedo Neto e Prático Inglês possuem maior facilidade de cálculo, uma vez que é utilizada uma equação para cada caso, e nestas entra-se com o dado de precipitação anual acumulada, não sendo necessário um método de cálculo numérico que precise convergir.

Devido à praticidade de aplicação e baixo nível de complexidade, os métodos práticos são indicados para residências unifamiliares e pequenos estabelecimentos, enquanto as metodologias de dimensionamento que utilizam os dados de precipitação mensal são indicadas para projetos maiores, no entanto não existe nenhuma restrição quanto à aplicação de cada método (AMORIN; PEREIRA, 2008).

3.2.3 Cálculo da demanda

A demanda representa o volume de água a ser consumido na edificação. Como se trata da utilização de água da chuva, os usos contabilizados para este consumo foram somente àqueles possíveis de serem substituídos por água não potável.

O valor da demanda é utilizado nos métodos de Rippl e Simulação, não sendo considerada na aplicação dos métodos que utilizam valores de chuva acumulada anual (Azevedo Neto e Inglês).

Para o cálculo da demanda neste estudo foi considerado o consumo mensal para uma edificação residencial unifamiliar de 4 pessoas, com área destinada à captação de água da chuva de 150 m². Os usos atribuídos para a água não potável a serem alimentados pelo SAAC foram a descarga de bacias sanitárias, a lavagem de dois carros, rega da área de jardim com 115 m² e utilização de torneira externa.

De acordo com Tomaz (2005) foram utilizados os parâmetros de engenharia usados nos Estados Unidos para determinar a demanda de água em uma edificação, pois infelizmente no Brasil são apresentados apenas dados estimados para o cálculo de consumo. Abaixo são apresentados na Tabela 3.2 os cálculos para demanda do SAAC a ser dimensionado neste estudo.

Tabela 3.2 - Cálculo do consumo de água pluvial

Descrição	Quantidade	Unidade	Total Mensal (L)
Descarga na Bacia	5	Descarga/Pessoa/Dia	5400
Volume da descarga	9	Litros/Descarga	
Mangueira Externa	50	Litros/Dia	1500
Rega de Jardim	2	Litros/Dia/m ²	6900
Lavagem Carros	150	Litros/Lavagem/Carro	1200
Lavagem Carros	4	Lavagem/mês	
Demanda total mensal			15000

Fonte: A autora.

A demanda é um dado fundamental para analisar a eficiência do SAAC, sendo que o projetista do sistema deverá levar em consideração os períodos secos com o intuito de suprir a demanda. Em função deste período e consumo, juntamente com o custo de implantação do SAAC é possível observar e definir com o consumidor qual o tamanho ideal do reservatório, porém neste trabalho isto não será abordado.

3.2.4 Espacialização dos dados

Com o objetivo de espacializar os resultados obtidos para toda a região dos Campos Gerais do Estado do Paraná, utilizou-se a ferramenta de interpolação krigagem ordinária através do *software QuantunGIS*, onde utilizou-se a variável do V (volume do reservatório m³) para ser interpolada. A partir destas interpolações, foram elaborados mapas para cada metodologia de cálculo, período e cenário avaliados.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da utilização dos dados de precipitação gerados pelo software PGECLIMA_R, foi possível realizar o dimensionamento de reservatório de um SAAC para todos os postos estudados. Desta forma, cada cenário climático e período, implicaram em volumes de reservatórios para águas pluviais diferentes, de acordo com os níveis de precipitação projetados.

Os dados de precipitação da série história para cada posto analisado dentro da Região dos Campos Gerais do Paraná, juntamente com os dados de precipitação projetados pelo PGECLIMA_R até o final do século XXI em ambos os cenários, estão dispostos na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Dados de precipitação (mm) projetados em C1 e C2 até o final do século XXI

Postos	Histórico	C1 - Melhor Cenário			C2 - Pior Cenário		
		2039	2069	2099	2039	2069	2099
Campo Tenente	1557,3	1450,5	1343,5	1771,0	1739,8	1810,0	2399,7
Campo Largo	1478,4	1770,1	1890,0	1557,0	1529,0	2446,9	2032,1
Candido Abreu	1767,6	1641,6	1989,8	2452,5	2475,4	2387,5	3303,9
Castro	1486,9	1641,7	1708,4	1627,7	1646,4	1760,6	2058,1
Ivaí	1699,3	1871,1	1584,0	2069,9	2066,1	2568,1	2498,3
Jaguariaíva	1523,9	1351,1	1699,9	2081,5	2012,4	1738,3	2258,8
Lapa	1163,5	1692,9	2256,8	1537,7	1669,4	2275,0	2576,2
Ponta Grossa	1607,7	1780,4	1375,2	1587,9	1361,0	1776,7	2402,2
Rio Negro	1637,9	1758,2	1891,2	1745,7	1777,3	2294,3	1829,1
Sengés	1367,1	1105,4	1212,4	1459,5	1137,0	2312,9	2055,3
Telêmaco Borba	1619,3	1880,1	1716,6	2055,9	1798,1	2380,0	2227,8
Tibagi	1618,5	1697,8	2026,8	1703,5	1888,6	1877,2	2677,0

Fonte: A autora

Analisando o comportamento da precipitação, observa-se que o aumento previsto segundo os relatórios do IPCC (2014) de 17% para o C1 (melhor cenário) e de 48% para o C2 (pior cenário) ocorreu até o final do ano de 2099. Porém devido à grande variabilidade da precipitação, pode-se notar que esse aumento não ocorreu na simulação de forma linear ao longo dos períodos. Através dos métodos utilizados, foi possível observar que essas alterações pluviométricas projetadas nos cenários futuros influenciaram no dimensionamento de reservatórios. As modificações no clima, principalmente a ocorrência de períodos de seca e de cheias ao longo dos anos, resultaram em elevados níveis de aumentos e também de reduções no volume dos reservatórios até o final do século XXI. Desta maneira observa-se que a

variabilidade da chuva e os eventos extremos devem ser considerados em projetos de SAAC, já que algumas anomalias climáticas já foram observadas, como o aumento intenso na precipitação no Sudeste e na região Sul do Brasil, assim como na Amazônia (MARENGO et al., 2007) e grandes secas, em 1877, 1983 e 1998 no Nordeste, 2004-2006 no Sul do Brasil, 2001 no Centro Oeste e Sudeste, e em 1926, 1983, 1998 e 2005 na Amazônia (MARENGO, 2008).

Os métodos para dimensionamento do reservatório de SAAC aplicados neste estudo e indicados pela ABNT (2007) apresentaram grande divergência entre si, da mesma forma como apontado em trabalhos semelhantes realizados por Bezerra et al. (2010), Dornelles; Tassi e Goldenfum (2010) e Amorim e Pereira (2008).

Nas Tabelas 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7 são apresentados os volumes dos reservatórios obtidos por meio das 4 (quatro) formas de cálculo, realizadas para os períodos 2039, 2069 e 2099 dentro dos 2 (dois) cenários projetados e para o período histórico.

Tabela 3.4 - Resultados obtidos pela Metodologia de Rippl

Rippl	Histórico	Volume Reserv. No C1 (m ³)				Volume Reserv. no C2 (m ³)			
		C1 2039	C1 2069	C1 2099	Dif. Total	C2 2039	C2 2069	C2 2099	Dif. Total
Campo Tenente	12,2	27,9	23,7	13,4	9%	8,1	5,2	11,5	-6%
Campo Largo	20,4	33,4	19,6	32,9	61%	35,8	7,4	7,2	-65%
Candido Abreu	5,6	15,3	33,4	11,4	105%	12,6	8,3	4,1	-26%
Castro	19,0	17,5	20,7	15,0	-21%	9,9	36,3	10,4	-45%
Ivaí	5,1	13,8	10,0	8,9	76%	21,1	NA	9,1	80%
Jaguariaíva	19,6	20,6	21,1	8,6	-56%	20,7	28,3	9,1	-53%
Lapa	43,5	18,6	0,3	28,8	-34%	11,2	16,8	5,4	-88%
Ponta Grossa	11,0	13,4	29,5	11,4	4%	22,3	19,1	13,4	22%
Rio Negro	3,3	8,8	16,0	17,4	429%	6,8	12,1	28,6	770%
Sengés	31,8	41,2	35,5	36,5	15%	39,6	21,0	15,1	-53%
Telêmaco Borba	12,9	18,2	22,6	20,4	59%	18,4	2,0	15,8	23%
Tibagi	10,9	13,9	4,0	5,3	-52%	17,7	9,5	12,3	13%

Fonte: A autora.

Tabela 3.5 - Resultados obtidos pela Metodologia da Simulação

Simulação		Volume Reserv. no C1 (m ³)				Volume Reserv. no C2 (m ³)			
		C1 2039	C1 2069	C1 2099	Dif. Total	C2 2039	C2 2069	C2 2099	Dif. Total
Postos/Cidades	Histórico								
Campo Tenente	12,2	31,0	36,5	16,7	37%	20,0	6,7	11,7	-4%
Campo Largo	20,4	43,7	19,7	35,7	75%	36,0	7,4	8,5	-58%
Candido Abreu	5,6	20,6	33,5	11,4	105%	12,6	9,0	4,1	-26%
Castro	19,0	28,3	34,5	25,9	36%	14,8	36,3	11,7	-38%
Ivaí	5,4	19,9	16,0	10,8	101%	21,5	NA	11,8	120%
Jaguariaíva	19,6	28,4	35,3	8,6	-56%	20,8	35,3	9,1	-53%
Lapa	43,5	19,5	NA	30,3	-30%	17,4	18,5	5,5	-87%
Ponta Grossa	11,0	28,0	36,6	19,7	79%	30,4	20,8	20,8	89%
Rio Negro	6,0	14,8	23,8	19,5	225%	8,7	14,2	28,6	377%
Sengés	31,8	55,0	50,3	38,9	22%	45,9	21,0	15,1	-53%
Telêmaco Borba	15,2	18,2	22,6	20,5	35%	20,4	2,0	15,8	4%
Tibagi	13,6	16,1	6,3	15,2	12%	17,7	16,6	13,0	-4%

Fonte: A autora.

Tabela 3.6 - Resultados obtidos pela Metodologia de Azevedo Neto

Azevedo Neto		Volume Reserv. no C1 (m ³)				Volume Reserv. no C2 (m ³)			
		C1 2039	C1 2069	C1 2099	Dif. Total	C2 2039	C2 2069	C2 2099	Dif. Total
Postos/Cidades	Histórico								
Campo Tenente	19,6	36,6	33,9	22,3	14%	43,8	11,4	45,4	131%
Campo Largo	37,3	55,8	35,7	39,2	5%	38,5	30,8	12,8	-66%
Candido Abreu	11,1	31,0	37,6	15,5	39%	31,1	45,1	20,8	87%
Castro	18,7	41,4	53,8	41,0	119%	41,5	55,5	25,9	38%
Ivaí	10,7	47,2	29,9	13,0	21%	39,0	16,2	15,7	47%
Jaguariaíva	28,8	42,6	53,5	26,2	-9%	38,0	43,8	14,2	-51%
Lapa	51,3	64,0	14,2	38,8	-24%	12,5	17,1	19,3	-62%
Ponta Grossa	10,1	56,1	43,3	50,0	394%	60,0	44,8	30,3	199%
Rio Negro	10,3	33,2	47,7	44,0	326%	33,6	28,9	57,6	458%
Sengés	34,5	48,7	45,8	55,2	60%	43,0	43,7	38,8	13%
Telêmaco Borba	20,4	23,7	54,1	38,9	90%	22,7	15,0	56,1	175%
Tibagi	20,4	10,7	12,8	32,2	58%	47,6	23,7	50,6	148%

Fonte: A autora.

Tabela 3.7 - Resultados obtidos pela Metodologia Inglesa

Inglês	Histórico	Volume Reserv. no C1 (m ³)				Volume Reserv. no C2 (m ³)			
		C1 2039	C1 2069	C1 2099	Dif. Total	C2 2039	C2 2069	C2 2099	Dif. Total
Campos/Cidades									
Campo Tenente	11,7	10,9	10,1	13,3	14%	13,0	13,6	18,0	54%
Campo Largo	11,1	13,3	14,2	11,7	5%	38,5	18,4	15,2	37%
Candido Abreu	13,3	12,3	14,9	18,4	39%	18,6	17,9	24,8	87%
Castro	11,2	12,3	12,8	12,2	9%	12,3	13,2	15,4	38%
Ivaí	12,7	14,0	11,9	15,5	22%	15,5	19,3	18,7	47%
Jaguariaíva	11,4	10,1	12,7	15,6	36%	15,1	13,0	16,9	48%
Lapa	8,7	12,7	16,9	11,5	32%	12,5	17,1	19,3	121%
Ponta Grossa	12,1	13,4	10,3	11,9	-1%	10,2	13,3	18,0	49%
Rio Negro	12,3	13,2	14,2	13,1	7%	13,3	17,2	13,7	12%
Sengés	10,3	8,3	9,1	10,9	7%	8,5	17,3	15,4	50%
Telêmaco Borba	12,1	14,1	12,9	15,4	27%	13,5	17,9	16,7	38%
Tibagi	12,1	12,7	15,2	12,8	5%	14,2	14,1	20,1	65%

Fonte: A autora.

A partir da lógica de cada método de cálculo, compreende-se que a elevação dos níveis de precipitação deve resultar em reservatórios maiores no dimensionamento utilizando os métodos anuais, e menores na aplicação dos métodos mensais. No entanto, devido ao aumento da precipitação não ocorrer de forma linear ao passar do tempo como acontece com a temperatura, foram encontrados volumes finais coerentes com a variação irregular da precipitação e de acordo com as oscilações dos períodos secos e de cheias. Com exceção do método Inglês que apresentou em geral uma regularidade no aumento dos reservatórios de acordo com as projeções para os cenários e períodos, pois seu resultado é função da área de captação (dado constante) e igual a 5% de toda a precipitação anual, os outros métodos não simbolizaram de maneira regular o aumento projetado.

Percebe-se que os Métodos de Rippl, da Simulação e de Azevedo Neto apresentam uma sensibilidade com a variação do regime pluvial, uma vez que, métodos como o de Rippl e Simulação, que utilizam o balanço entre demanda e precipitação mensal, sofrem influência com as oscilações mensais da precipitação. Por sua vez o método de Azevedo Neto, que apesar de utilizar em sua equação o valor da precipitação acumulada anual, considera os períodos secos durante o ano, de maneira que multiplica o tamanho do reservatório pelo número de meses com pouca chuva, influenciando diretamente a presença de meses secos no volume final do reservatório. Por exemplo, a cidade de Lapa no período Histórico apresentou o menor valor de precipitação (1163,5 mm) e pelo método de Azevedo Neto (Tabela 3.6), esta localidade resultou no tamanho máximo de reservatório encontrado (51,3 m³), devido a

presença de meses com pouca chuva. No entanto, para o período histórico o volume mínimo encontrado para a cidade de Rio Negro foi de 3,3 m³ através do método de Rippl (Tabela 3.4), mesmo o valor de precipitação para esta localidade sendo um dos valores mais elevados, o reservatório resultou em um volume pequeno devido à uniformidade da distribuição mensal de chuva.

Até o final do século, as projeções de C2 para todos os métodos apresentaram o maior aumento e também a maior redução proporcional de volume do reservatório. Pode-se observar esse comportamento através do Método de Rippl (Tabela 3.4), onde para a localidade de Rio Negro o aumento do tamanho do reservatório foi de 25,3 m³ e para Lapa houve redução de 38,1 m³. Portanto tais alterações devem ser analisadas ao definir o tamanho do reservatório de SAAC para residências unifamiliares, já que a relação entre o custo e benefício também deve ser considerada, uma vez que, segundo Haque; Rahman e Samali (2016) o projeto de um SAAC deve considerar um tamanho ideal, pois o superdimensionamento é uma perda de recursos como energia, tempo e dinheiro, ao passo que o subdimensionamento acarreta em um SAAC que não é capaz de atender a demanda prevista.

3.3.1 Análise dos métodos com dados anuais de precipitação pluvial

3.3.1.1 Método de Azevedo Neto

Conforme pode ser observado nos mapas das Figuras 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 os tamanhos de reservatório estimados a partir da aplicação de todos os métodos utilizados, o Método de Azevedo Neto (Figura 3.2) resultou no tamanho máximo de reservatório encontrado para todas as localidades e cenários, uma vez que, este método considera o período seco e eleva substancialmente seu resultado. Após a interpolação os valores do tamanho do reservatório variaram de 12,0 a 52,0 m³ para o período histórico, sendo que os menores valores estão na porção oeste e extremo sul, onde a precipitação é maior em comparação as outras regiões.

Para os cenários simulados houve aumento do reservatório, com exceção da região leste, onde observa-se reduções evidentes do reservatório em regiões próximas aos municípios de Lapa, Campo Largo e Jaguariaíva. Nota-se que nesta região os valores no período histórico chegaram até 52 m³. Já para o ano de 2099, no pior cenário (C2), o máximo valor foi de 22 m³.

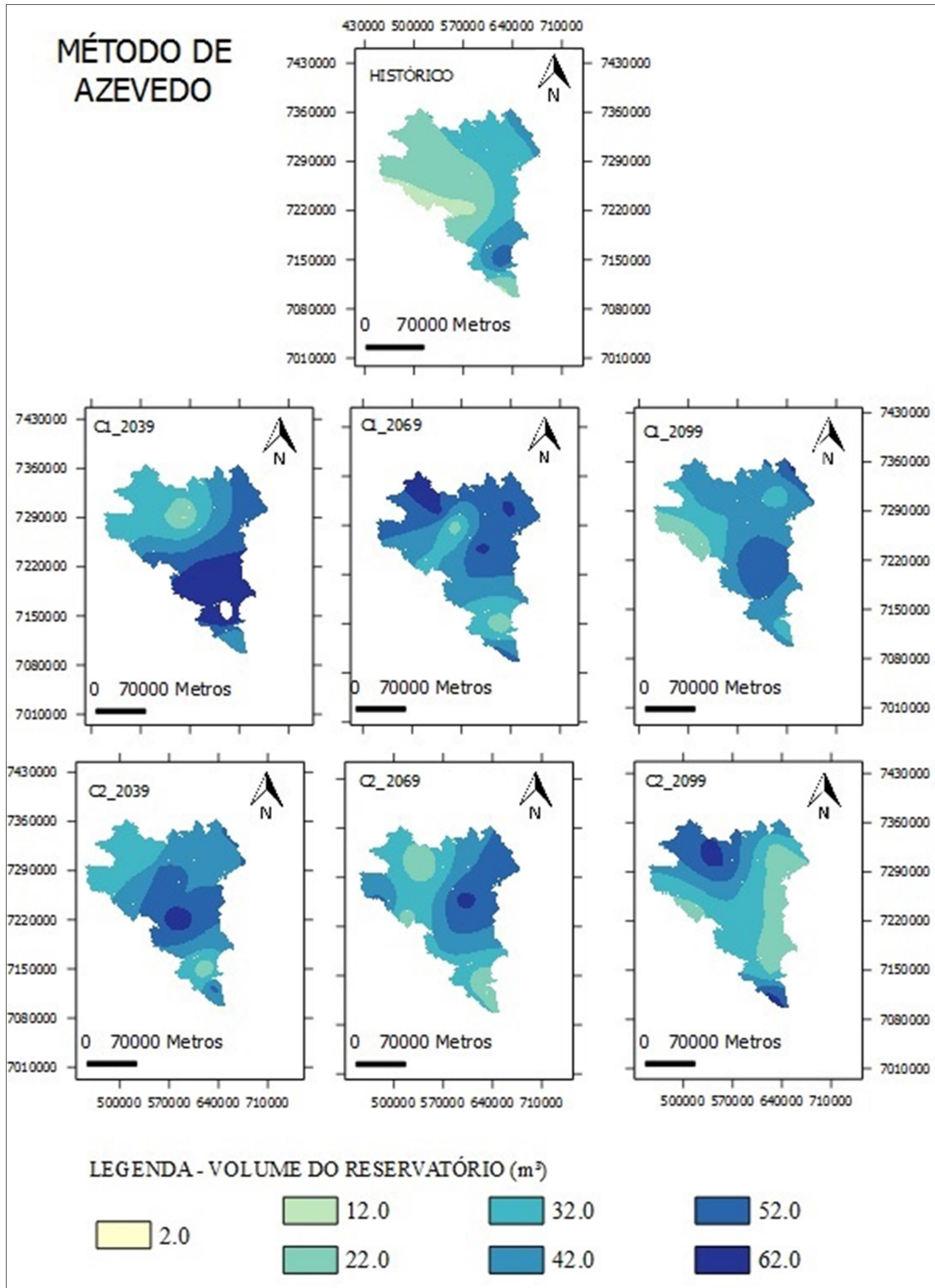
O município de Lapa, que no período histórico possui o tamanho máximo de reservatório (51,3 m³) reduziu 62% do seu tamanho até o final do 2099 para o C2 (19,3 m³),

atingindo picos em 2039 do C1 (64 m³) e em 2039 do C2 (12,5 m³). Isso se justifica, pois este método no período histórico considerou os períodos secos, elevando o volume do reservatório, porém com as projeções realizadas até o final do século, o aumento dos níveis de precipitação foi responsável pela eliminação desses períodos secos, e consequentemente a pela redução de picos entre cheias e secas, resultando assim na redução do volume que inicialmente eram elevados.

Os máximos valores obtidos em cada cenário e período para as localidades analisadas foram através de método de Azevedo Neto, onde para o período histórico Lapa apresentou 51,3 m³, para o C1 a mesma localidade apresentou 64 m³ em 2039, Telêmaco Borba apresentou 54,1 m³ em 2069 e Sengés 55,2 m³ em 2099.

Para o C2, Ponta Grossa apresentou 60 m³ em 2039, Castro 55,5 m³ em 2069 e Rio Negro 57,6 m³ em 2099. De acordo com Dornelles; Tassi e Goldenfum (2010) também foi o método que apresentou os maiores volumes para as localidades que apresentaram períodos de seca.

Figura 3.2 – Método Prático de Azevedo Neto



Fonte: Elaborado por Gabriela Leite Neves e autora.

3.3.1.2 Método Inglês

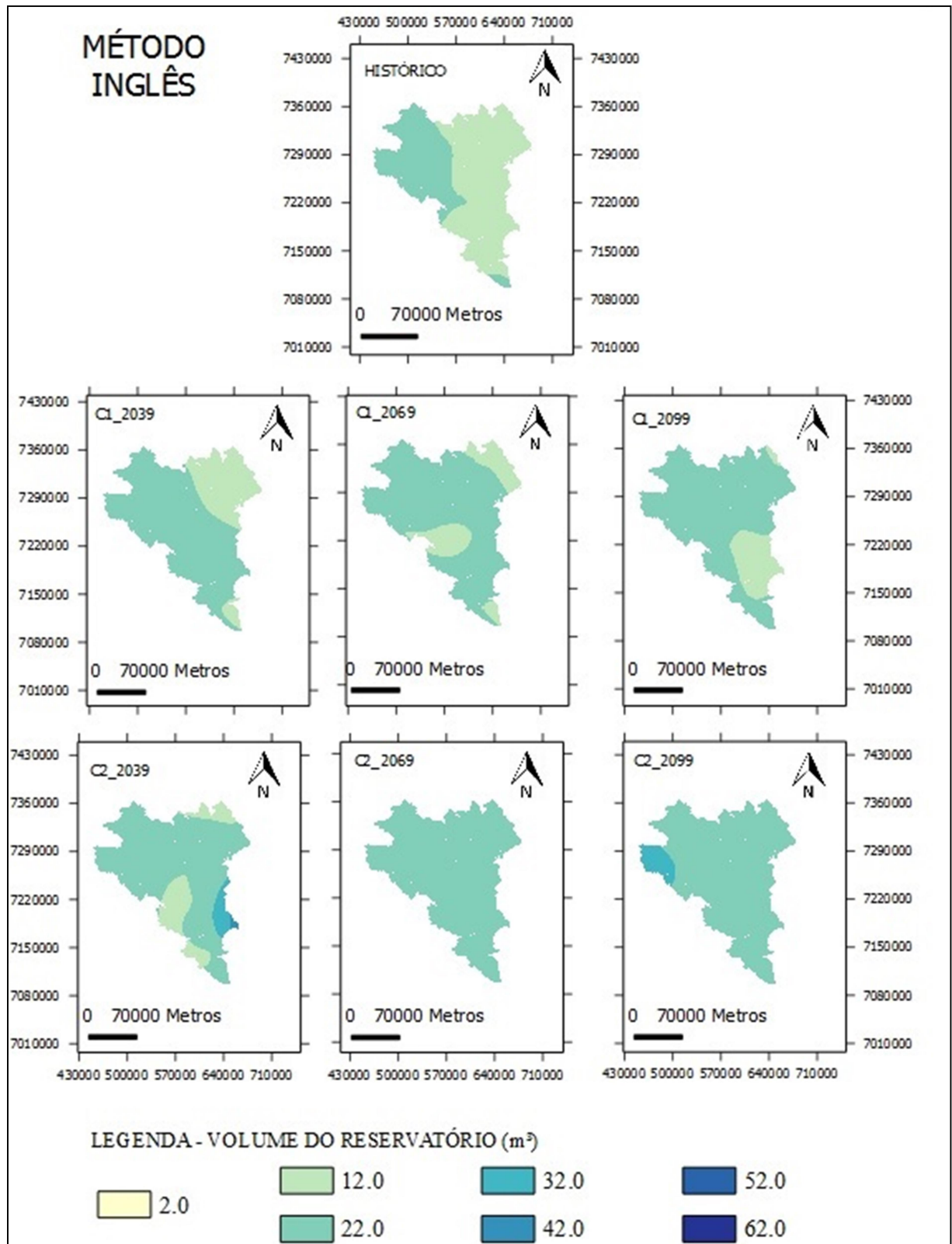
Em contrapartida, os resultados obtidos com o método Inglês (Figura 3.3) apresentam em média os menores valores. Após a interpolação os valores do tamanho do reservatório variaram 12,0 a 22,0 m³ no período histórico e com as projeções, a alteração dos volumes foi de aumento para toda a região dos Campos Gerais, porém o aumento ocorreu de forma relativamente pequena, sendo que os aumentos mais evidentes ocorreram para o pior cenário (C2) em 2039 em uma pequena porção ao leste, próximo ao município de Campo Largo que apresentou tamanho de reservatório de 38,5 m³ e em 2099 na região à oeste, onde o município de Candido Abreu apresentou valor de 24,8 m³.

Observa-se que para este método o município de Lapa apresenta no período histórico o volume mínimo de todas as cidades, em concordância com sua menor precipitação, já que o método Inglês propõe o armazenamento de uma proporção do total anual acumulado de chuva.

O método Inglês apresentou maior homogeneidade em seus resultados, representando valores no geral mais baixos e também com intervalos menores entre seus volumes mínimos e máximos. Foi o único método que apresentou um aumento progressivo dos volumes encontrados no decorrer do tempo e cenários projetados, por se tratar de um método que não considera picos de chuva e seca.

A localidade de Rio Negro apresentou através do método Inglês o menor aumento proporcional, ao comparar o volume do seu período histórico com o ano de 2099 no C2 onde há um aumento de 1,4 m³. O valor máximo de aumento proporcional neste método foi para a cidade de Lapa que do período histórico até o final do século seu tamanho mais que duplicou, totalizando um aumento de 121%, ou seja, de 8,7 m³ foi aumentando progressivamente ao longo dos períodos e cenários até chegar em 19,3 m³ em 2099 de C2.

Figura 3.3 - Método Prático Inglês



Fonte: Elaborado por Gabriela Leite Neves e autora.

3.3.2 Análise dos métodos com dados mensais de precipitação pluvial

3.3.2.1 Método de Rippl

A determinação do tamanho de um reservatório de SAAC está diretamente relacionada ao regime pluviométrico local, além de outras variáveis. Percebe-se que os métodos da ABNT (2007) que utilizam dados de precipitação mensal, Rippl e Simulação sofrem influência direta sobre o dimensionamento quando existem picos de cheias, uma vez que estas metodologias partem do princípio do balanço entre demanda e volume armazenado, de forma que quanto maior o saldo positivo de água proporcionado pelos grandes picos de chuvas mensais, menor será o volume final do reservatório.

Justamente devido a essas oscilações entre chuvas e secas presentes em todos os postos avaliados neste trabalho, foi possível a aplicação do método de Rippl (Figura 3.4) para as 12 localidades. Em estudo comparativo entre metodologias para determinação do volume final do reservatório de SAAC, observou que o método de Rippl mostra-se válido apenas para localidades com período seco expressivo, que representam grande amplitude na variação dos volumes precipitados nos períodos secos e úmidos (DORNELLES; TASSI; GOLDENFUM, 2010).

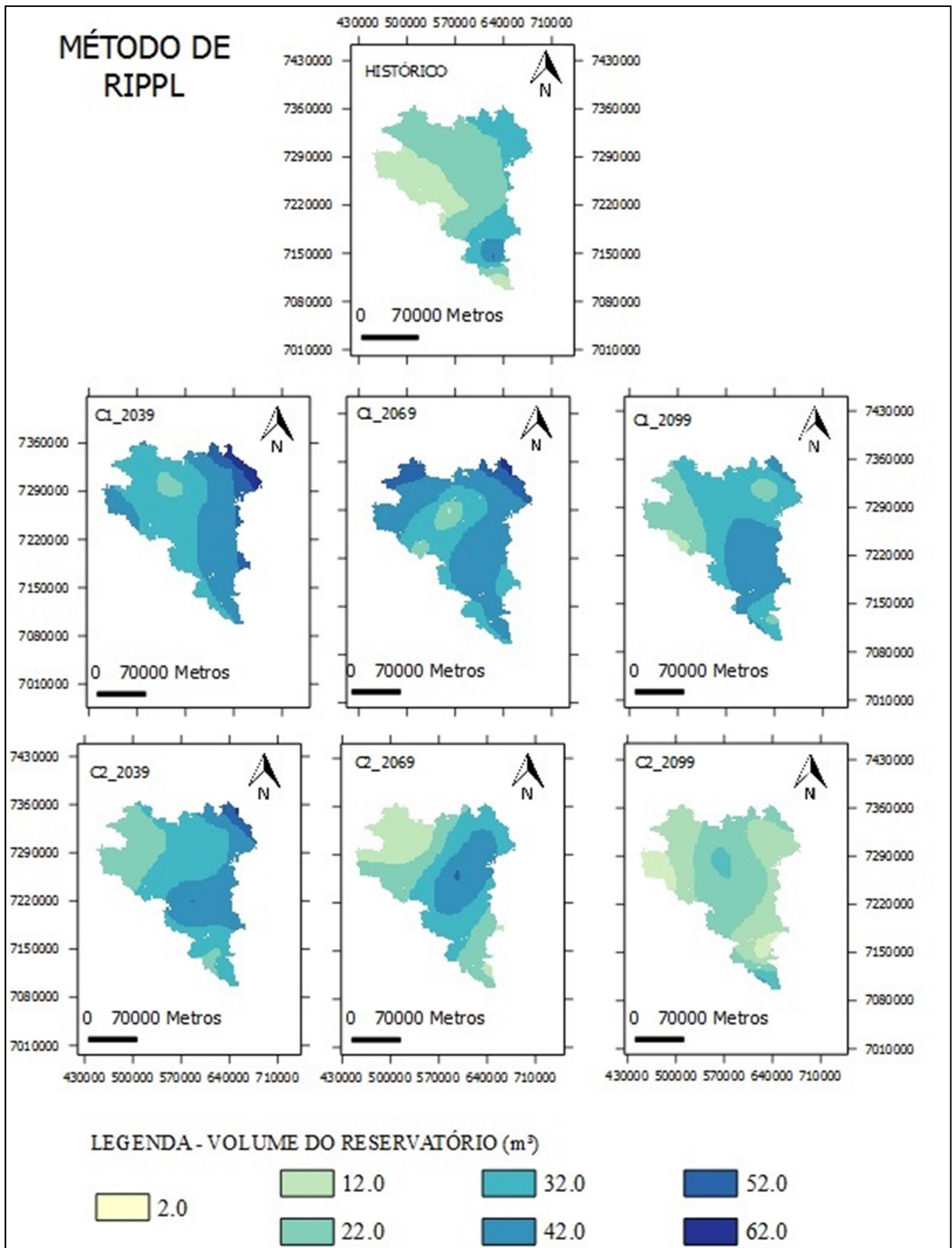
Após a interpolação os valores do tamanho do reservatório por meio do método de Rippl, observa-se que os tamanhos dos reservatórios variaram 12,0 a 42,0 m³ para o período histórico. Ao analisar os cenários futuros, de forma geral houve aumento dos reservatórios com exceção para o pior cenário em 2099, onde a redução fica evidente em toda a região dos Campos Gerais. Neste cenário pode-se notar que os valores chegam no máximo até 32 m³ para locais específicos (Figura 3.4 e Tabela 3.4).

O método de Rippl, confirmando a tendência dos métodos mensais em diminuir o tamanho do reservatório ao se aumentar a quantidade de chuva, uma vez que chovendo mais a quantidade a ser armazenada diminui, apresentou dentre todos os aplicados, os volumes mínimos resultantes de todos os cenários e períodos, sendo no período histórico a localidade de Rio Negro (3,3 m³), no C1 em 2039 com exceção de Sengés que pelo método Inglês resultou em (8,3 m³) em 2069 e 2099 Tibagi (4,0 m³) e (5,3 m³) respectivamente, no C2 em 2039 Rio Negro (6,8 m³), em 2069 Telêmaco Borba (2,0 m³) e em 2099 Cândido de Abreu (4,1 m³), como se pode observar na Tabela 3.4.

Porém, para evitar que a água excedente provoque cheia em corpos hídricos e principalmente enchentes em locais de risco, é preciso outro olhar sobre o dimensionamento e

utilização dos reservatórios de SAAC, pois o não armazenamento do excesso de águas pluviais resulta numa rápida elevação da vazão na rede de drenagem e conseqüentemente em seus receptores, que podem sofrer vários prejuízos como erosão, assoreamento, perda da mata ciliar e até mesmo a alteração do curso natural da água. De acordo com Da Silva (2015) as previsões aumentam a cada ano os já elevados riscos de erosão e de inundação das infraestruturas urbanas, industriais e turísticas, e também de habitats naturais.

Figura 3.4 - Método de Rippl



Fonte: Elaborado por Gabriela Leite Neves e autora.

3.3.2.2 Método da Simulação

O método da Simulação apresenta uma semelhança em seu perfil quando comparado com o método de Rippl, ambos tratam-se de métodos mensais e reduzem o volume do reservatório frente ao aumento da precipitação (Figura 3.5). No método da Simulação há uma diminuição dos reservatórios em geral de 23 % quando comparado o período histórico com o C2 até o final do século. Observa-se que no período histórico os tamanhos dos reservatórios variaram de 12,0 a 42,0 m³. Já para o pior cenário no ano de 2099 o tamanho chega ao máximo até 22 m³.

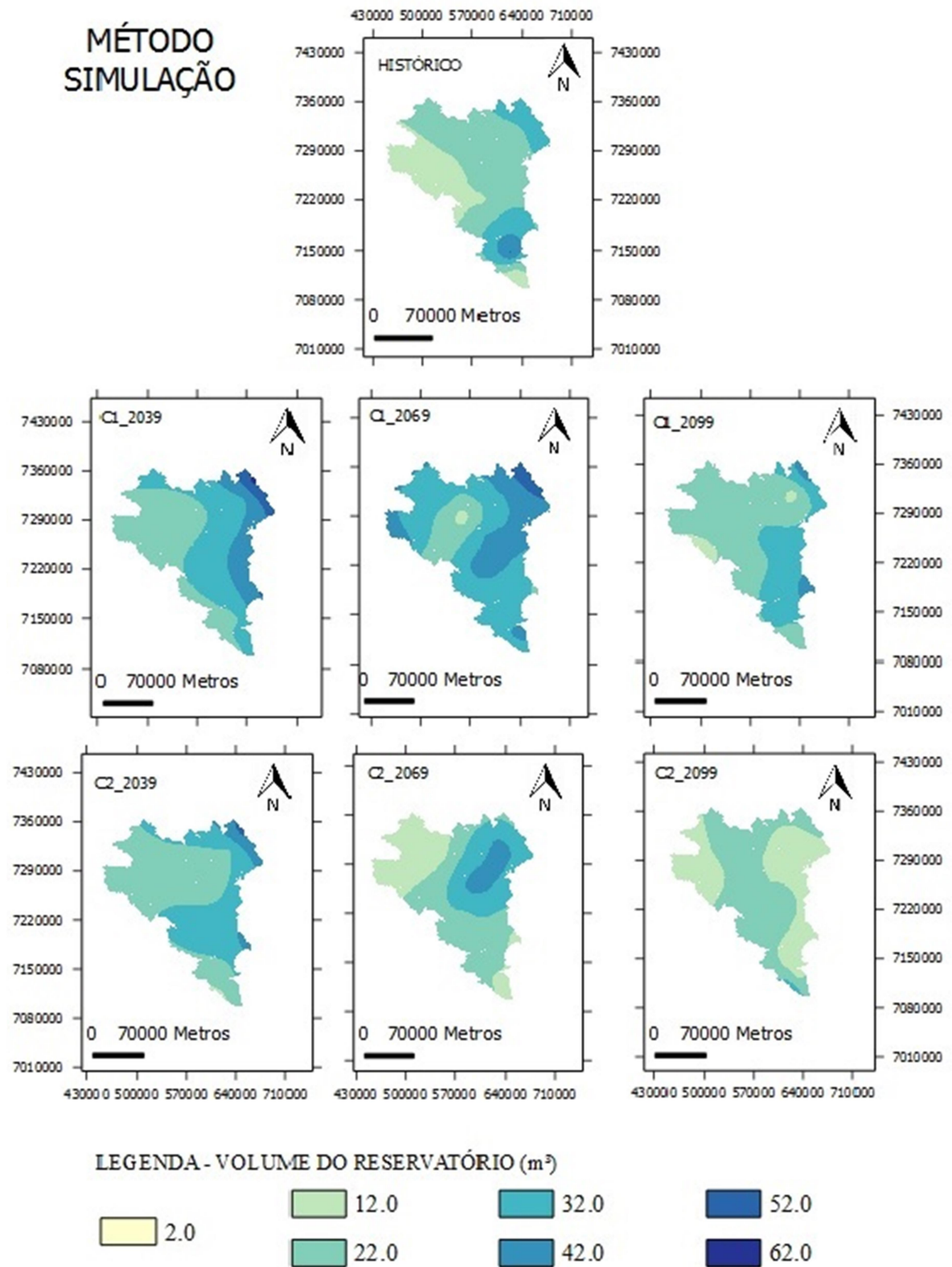
O município de Lapa apresentou a menor redução proporcional, sendo que passa de um tamanho de 43,5 m³ para 5,5 m³, em acordo com o aumento da sua precipitação que foi de 1163 mm para 2576 mm.

Em contrapartida, no método da Simulação houve para a cidade de Rio Negro um aumento no tamanho do reservatório de 6,0 m³ no período histórico, que passou para 28,6 m³ até 2099 do C2, devido à existência de períodos expressivos de seca, mesmo após o aumento nos níveis de precipitação.

Considerando todos os métodos e cenários analisados, em quase todas as localidades avaliadas houve uma alteração significativa no tamanho final do reservatório, que teve aumentos na ordem de até 770% e reduções de até 88%. Esta grande variação obtida nos tamanhos dos reservatórios está diretamente ligada com o perfil pluviométrico de cada região e principalmente, como apontaram os resultados, com as alterações climáticas projetadas até o final do século XXI.

Marengo et al. (2011) relata que às mudanças climáticas principalmente a ocorrência de eventos extremos, provocam alterações no ciclo hidrológico e por sua vez na disponibilidade dos recursos hídricos. Neste estudo foi observado que a ocorrência de eventos climáticos extremos causou divergências pontuais no dimensionamento dos reservatórios, ou seja, a presença de períodos expressivos de secas e cheias foi responsável pela alteração no tamanho do reservatório.

Figura 3.5 - Método da Simulação



Fonte: Elaborado por Gabriela Leite Neves e autora.

3.4 CONCLUSÃO

Neste estudo, utilizando os métodos propostos, foi possível observar que as alterações climáticas interferem diretamente no dimensionamento de reservatórios de água pluvial, sendo assim, para estes mantenham sua utilização ao longo do tempo, devem ser observadas as mudanças climáticas previstas, de forma que o correto dimensionamento destes reservatórios possa garantir ao longo da vida útil da edificação o conforto, a economia e principalmente o atendimento a demanda por água pluvial, demanda esta que de forma positiva ao meio ambiente deve aumentar, enquanto se reduz a demanda por água advinda de estações públicas de tratamento e distribuição.

A dificuldade de estabelecer o melhor método de dimensionamento de reservatório não está na escolha da metodologia a ser aplicada, mas sim na relação entre custo e benefício para o consumidor e principalmente na com base nas características do regime de precipitação da região e também da demanda a ser atendida. Portanto o projetista do SAAC deve, na escolha do tamanho do reservatório, considerar também os impactos que podem ser causados pelo excesso de chuva. Utilizando o reservatório como forma de mitigar os efeitos causados por eventos climáticos com elevado índice de precipitação, pois há uma diminuição do volume de água direcionado aos rios receptores do sistema de drenagem urbana ao se armazenar parte da água que por meio do escoamento em coberturas seria direcionada através de dutos de drenagem urbana para seus corpos hídricos receptores aumentando a vazão e ocasionando cheias.

Portanto o armazenamento de água da chuva pode ter utilidade não apenas para abastecer a demanda do SAAC, mas também para conter águas de grandes eventos climáticos como fortes e intensas chuvas evitando picos de vazão em córregos e corpos hídricos em geral.

O software PGECLIMA apresentou grande importância na projeção de cenários climáticos, o que possibilitou avaliar o dimensionamento dos reservatórios em diferentes metodologias e desta forma concluir que as alterações climáticas impactam de forma representativa o tamanho dos reservatórios de SAAC, apresentado assim, mais uma aplicação deste software em estudos relacionados à construção civil e ao planejamento e desenvolvimento urbano.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva: aproveitamento em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.
- AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo Comparativo dos Métodos de Dimensionamento para Reservatórios Utilizados em Aproveitamento de Água Pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, abr./jun. 2008.
- BORREGO, C. et al. As alterações climáticas: uma realidade transformada em desafio. **Revista Captar: Ciência e Ambiente para Todos**, v. 2, n. 2, p. 1-16, 2010.
- DA SILVA, A. C. V. **GESTÃO TERRITORIAL EM ZONAS COSTEIRAS O exemplo de São Martinho do Porto**. 2015, 198f. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) - Universidade de Coimbra, 2015.
- DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J.A. Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n. 2, p. 59-68, abr/jun. 2010.
- HAQUE, M. M.; RAHMAN, A.; SAMALI, B. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting Md Mahmudul. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 60-69, 2016.
- IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. 151 p.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 4.ed. Ponta Grossa: UEPG, 2012. 526p
- MARENGO, J. A.; ALVES, L.; VALVERDE, M. C.; ROCHA, R. P. da; LABORBE, R.. **Eventos extremos em cenários regionalizados de clima no Brasil e América do Sul para o Século XXI: Projeções de clima futuro usando três modelos regionais**. Brasília, fev. 2007. Disponível em: <http://www.grec.iag.usp.br/link_grec_old/outros/ambrizzi/relatorio5.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2015.
- MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008.
- MARENGO, J. A. et al. **Riscos das mudanças climáticas no Brasil: análise conjunta Brasil - Reino Unido sobre os impactos das mudanças climáticas e do desmatamento na Amazônia**. [S. L.]. INPE/Met Office, 2011. Disponível em: <www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/.../Mudancas_Climaticas_no_Brasil_relatorio.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2015.
- MELO, M. S.; MORO, R. S.; GUIMARÃES, G. B. Os Campos Gerais do Paraná. In: **Patrimônio Natural dos Campos Gerias**. Ponta Grossa: UEPG, 2007. 230p.

MELO, L. C et al. Cenários climáticos futuros para o Paraná: oportunidades para o setor florestal. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 120-131, 2015.

MIERZWA et al. Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. **REGA**, v. 4, n. 1, p. 29-37, jan./jun. 2007.

NICKS, A. D., HARP, J. F. Stochastic generation of temperature and solar radiation data. **Journal of Hydrology**, v. 48, p. 1-17, 1980.

NOBRE, P. **Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro**. Desertificação e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro, p. 25-35. 2011. Disponível em: http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/09.22.17.03.30/doc/Nobre_Mudancas.pdf <>. Acesso em: 26 abr. 2016.

OLIVEIRA, V. P. S.; ZANETTI, S. S.; PRUSKI, F. F. CLIMABR Parte I: Modelo para a geração de séries sintéticas de precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 348-355, 2005.

PBMC. **Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas** [Ambrizzi, T., Araujo, M. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2014. 464 p.

PYKE, C. R. Interactions between habitat loss and climate change: implications for fairy shrimp in the Central Valley Ecoregion of California, USA. **Climatic Change**, v. 68, n. 1-2, p. 199-218, 2005.

RICHARDSON, C. W.; WRIGHT, D. A. WGEN: A model for generating daily weather variables. **USDA-ARS ARS-8**, 1984. 80p.

RUPP, R. F.; 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.

SEMENOV, M. A.; BARROW, E. M. Use of a stochastic weather generator in the development of climate changes scenarios. **Climatic Changes**, Amsterdam, v. 35, p. 397-414, 1997.

SEMENOV, M. A. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. **Climate Research**, v. 35, p. 203-212. 2008.

SILVA, I. F.; NÓBREGA, R. S.; GALVÍNCIO, J. D. Impacto das mudanças climáticas nas respostas hidrológicas do Rio Ipojuca (PE) – Parte 2: Cenários de aumento de temperatura. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 2, n. 2, p. 19-30, 2009.

TOMAZ, P. Aproveitamento da Água de Chuva: **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. 2. ed. São Paulo: Editora Navegar, 2005. 180p.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**. Ed. RiMa e Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, 2003. 248 p.

VIRGENS FILHO, J. S. **Modelo computacional para simulação de dados climáticos**. 1997. 86f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

VIRGENS FILHO, J. S. **Ferramenta computacional para simulação de séries climáticas diárias, baseada na parametrização dinâmica das distribuições de probabilidade**. 2001. 92f. Tese (Doutorado em Energia e Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

VIRGENS FILHO, J. S. et al. Desempenho dos modelos CLIGEN, LARS-WG e PGECLIMA_R na simulação de séries diárias de temperatura máxima do ar para localidades do estado do Paraná. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v. 33, n. 3, p. 538-547, 2013.

CONCLUSÃO

Em acordo com diversos estudos semelhantes, pode-se concluir nesta pesquisa, que os métodos de dimensionamentos sugeridos pela ABNT (2007) na NBR 15527 não convergem entre si e, além disto, apresentam grande nível de discrepância entre eles, sendo preciso à determinação de outras variáveis de maior importância na escolha do tamanho final do reservatório de um SAAC.

A dificuldade de estabelecer a melhor metodologia não está na escolha da qual aplicar, mas sim na relação entre custo e benefício para o consumidor e principalmente na demanda a ser atendida, assim como das características do regime de precipitação da região. Portanto o projetista do SAAC deve, na escolha do tamanho do reservatório, considerar também os impactos que podem ser causados pelo excesso ou falta da chuva previstos. De forma que todas as metodologias de dimensionamento de reservatório utilizadas neste estudo mostraram-se sensíveis às alterações climáticas previstas até o final do século XXI.

Ao considerar que é preciso armazenar uma porcentagem do total de chuva anual, os métodos anuais sugerem que com o aumento da precipitação, deve-se projetar reservatórios maiores, minimizando assim os impactos causados pelo excesso de chuva. De forma que justifica-se a utilização de reservatórios de águas pluviais também para a contenção de alagamentos que podem ocorrer com o aumento da precipitação, conforme apontam as previsões climáticas.

Pode-se concluir que as alterações climáticas previstas para o futuro impactam diretamente no tamanho do reservatório, principalmente em área urbanizadas onde existem grandes áreas impermeabilizadas que direcionam a água da chuva de forma rápida para córregos, rios e oceanos. A redução dos impactos causados pela rápida incidência da água da chuva nos corpos hídricos pode ser diminuída com o armazenamento desta água, fornecendo uma segunda função aos reservatórios de águas pluviais, fazendo com que o reservatório não seja dimensionado apenas para atender uma demanda de uso, mas também com finalidade de mitigar impactos da urbanização e do aumento nos níveis de precipitação previstos.

Através da simulação de cenários climáticos futuros e da análise dos impactos sobre o tamanho de reservatórios de SAAC, foi possível gerar um conjunto de dados e informações que podem colaborar para que as edificações sustentáveis mantenham suas condições de equilíbrio entre o meio ambiente e os seus sistemas, com o passar do tempo e de acordo com suas necessidades. Onde o software PGECLIMA_R mostrou-se uma ferramenta importante a ser utilizada na área da construção civil e principalmente no planejamento e desenvolvimento

urbano que devem considerar as alterações climáticas previstas a fim de prevenir seus impactos.