



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA**

**AMANDA BEZERRA DE SOUSA**

**DIMENSIONAMENTO DE CISTERNAS E PROPOSTA DE TIPOLOGIAS DE  
VOLUME PARA REGIÕES PLUVIAIS HOMOGÊNEAS**

**NATAL- RN**  
**2017**

AMANDA BEZERRA DE SOUSA

**DIMENSIONAMENTO DE CISTERNAS E PROPOSTA DE TIPOLOGIAS DE  
VOLUME PARA REGIÕES PLUVIAIS HOMOGÊNEAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto

Coorientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Adelena Gonçalves Maia

**Natal  
2017**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN  
Sistema de Bibliotecas - SISBI  
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Sousa, Amanda Bezerra de.

Dimensionamento de cisternas e proposta de tipologias de volume para regiões pluviiais homogêneas / Amanda Bezerra de Sousa. - 2017.

85 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, RN, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto.

Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Adelená Gonçalves Maia.

1. Água de chuva - Dissertação. 2. Zonas pluviiais homogêneas - Dissertação. 3. PCD - Dissertação. 4. Dimensionamento de cisternas - Dissertação. I. Andrade Neto, Cícero Onofre de. II. Maia, Adelená Gonçalves. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 628.1.037

AMANDA BEZERRA DE SOUSA

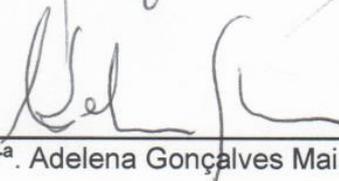
**DIMENSIONAMENTO DE CISTERNAS E PROPOSTA DE TIPOLOGIAS DE  
VOLUME PARA REGIÕES PLUVIAIS HOMOGÊNEAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. Cícero Onofre de Andrade Neto – Orientador



Prof. Drª. Adelena Gonçalves Maia - Coorientadora



Prof. Drª Joana Darc Freire de Medeiros- Examinador UFRN



Prof. Dr. Eduardo Henrique Borges Cohim Silva - Examinador Externo UEFS

Natal, 10 de março de 2017

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado que possibilitou os anos de dedicação e esforço a essa pesquisa.

Ao meu orientador Cícero Onofre, que me mostrou na prática a importância da nossa profissão, que me ensinou que a verdadeira essência da pesquisa deve ser para a melhoria de vida do “nosso povo” e que além de todo o conhecimento técnico transmitido, o seu comprometimento e entusiasmo pela engenharia e artes serviram para mim como uma inspiração de pessoa e profissional que almejo ser.

À minha coorientadora Adelena Maia, por todas as vezes que esteve presente para me auxiliar no trabalho, por toda a sua paciência e tranquilidade no esclarecimento de cada dúvida e pelas conversas de encorajamento. Você foi uma peça fundamental para a concretização deste trabalho.

À Professora e amiga Solange Dombroski, que ainda na graduação abriu as portas da pesquisa para mim. Se for verdade que colocam anjos ao longo de nossas vidas, você foi o meu na vida acadêmica.

Aos meus pais Arlindo Bezerra e Francisca Bezerra e meus irmãos Bruno Bezerra e Arlindo Júnior por todo o apoio e amor incondicional, pelos conselhos e pelos exemplos de vida que são para mim. Todos os objetivos que eu consiga alcançar em minha vida, eu devo isso a vocês.

Agradeço à Alane Dantas por todo o apoio, carinho, companheirismo, pelas palavras de incentivo e por estar presente sempre quando mais precisei. Agradeço também a Ciro Sampaio pelas conversas de encorajamento e desabafo que tanto me ajudaram.

A SEAPAC, na pessoa de Damião Santos pela disponibilização dos dados utilizados e a Canindé pelo auxílio na aplicação dos questionários.

A todos os professores, funcionários e colegas do LARHISA que nesses anos de convívio me proporcionaram compartilhar conhecimentos, experiências, companheirismo e alegrias.

À banca pela sua disponibilidade e por cada contribuição no aperfeiçoamento deste trabalho.

A todos os meus amigos e familiares que me incentivaram de forma direta ou indireta na concretização dessa conquista.

E por fim, agradeço a Deus, por cada oportunidade que tive na minha vida e por ter colocado no meu caminho todas essas pessoas que são dignas de todo o meu agradecimento.

## RESUMO

A adoção de sistemas de captação de água de chuva como fonte de água potável é uma prática disseminada em diversas partes do mundo. A eficiência do sistema está diretamente ligada ao dimensionamento adequado do reservatório. O objetivo desta pesquisa é delimitar zonas pluviais homogêneas para o Estado do Rio Grande do Norte, avaliar a variação de volumes de cisternas com diferentes métodos de dimensionamento para estas zonas e, por fim, determinar tipologias de volumes de cisternas para regiões com regimes pluviais semelhantes. Para a delimitação das zonas pluviais homogêneas foi utilizado a precipitação média anual e o índice PCD (*Precipitation Concentration Degree*) que permite estimar a forma como a precipitação se distribui ao longo dos meses do ano. Os resultados mostraram que a divisão em 6 grupos homogêneos contempla toda a variação das características pluviais para o Estado. Quanto à avaliação dos métodos de dimensionamento, pôde-se concluir que os métodos Andrade Neto, Rippl, Simulação, YAS, Prático Australiano e Eficiência de 80% são apropriados, visto que os métodos apresentam variação dos volumes condizente com a variação das características pluviais. Por fim, é possível estabelecer tipologias de volumes de cisternas que possam atender às situações diversas que existem na prática. No caso do Estado do Rio Grande do Norte, podem-se utilizar seis volumes de cisternas diferentes: 3, 5, 8, 12, 16 e 18 m<sup>3</sup>. Apenas 7% das famílias avaliadas necessitam de uma cisterna de 16 m<sup>3</sup> para atender satisfatoriamente às suas demandas, isso demonstra que o volume utilizado para todas as situações é o volume adequado para uma pequena parcela das famílias, comprovando a necessidade de utilização de volumes distintos.

**Palavras-chave:** Zonas pluviais homogêneas. PCD. Dimensionamento de cisternas.

## ABSTRACT

The adoption of catchment systems of rainwater as source of drinking water is a disseminated practice in many parts of the world. The system efficiency is directly connected to the suitable sizing of the reservoir. The aim of this research is delimit homogeneous pluvial zones to the Rio Grande do Norte State, to assess the variation of volumes of the cistern for regions with similar rain regimes. For delimitation of the homogeneous pluvial zones was used the mean annual precipitation and the PCD (Precipitation Concentration Degree) that allows to estimate the way as the precipitation distributed over the months of the year. The results show that the division in 6 homogeneous groups contemplates all the variation of rainfall characteristics for the. The methods evaluation of the sizing, it cans conclude that the methods Andrade Neto, Rippl Simulação, YAS, Prático Australiano and Efficiency of the 80% are appropriate, whereas the methods presents variation of the volumes consistent with variation in rainfall characteristics. Lastly, it is possible establish typologies of cistern volumes that can meet the diverse situations that exist in practice. In the case of the State of Rio Grande do Norte, we can used six volumes of different cisterns: 3, 5, 8, 12, 16 e 18 m<sup>3</sup>. Only 7% of available families need of a cistern of 16 m<sup>3</sup> for attend satisfactorily their demands, this show that the volume used for all the situations is the adequate volume for a small portion of families, proving the need to use different volumes.

**Key-words:** Homogeneous pluvial regions. PCD. Sizing of cisterns.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xi
APRESENTAÇÃO.....	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. Capítulo 1 - DETERMINAÇÃO DE ZONAS PLUVIAIS HOMOGENEAS ATRAVÉS DO ÍNDICE PCD E DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL .....	5
2.1. INTRODUÇÃO .....	7
2.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	8
2.2.1. Caracterização da área de estudo.....	8
2.2.2. Dados de precipitação .....	10
2.2.3. Análise de agrupamentos .....	13
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	14
2.4. CONCLUSÕES .....	19
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	20
3. Capítulo 2 – ANÁLISE DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE CISTERNAS COM BASE NA AVALIAÇÃO DE VOLUMES CALCULADOS PARA ZONAS PLUVIAIS HOMOGENEAS DISTINTAS .....	22
3.1. INTRODUÇÃO .....	24
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	25
3.2.1. Métodos de dimensionamento.....	26
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
3.4. CONCLUSÕES .....	40
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
4. Capítulo 3 – DIMENSIONAMENTO DE CISTERNAS E PROPOSTA DE TIPOLOGIAS DE VOLUME PARA REGIÕES PLUVIAIS SEMELHANTES.....	43
4.1. INTRODUÇÃO .....	45
4.2. MATERIAIS E MÉTODOS .....	46
4.2.1. Área de estudo .....	46
4.2.2. Método de dimensionamento .....	46

4.2.3. Número de moradores.....	47
4.2.4. Demanda adotada .....	48
4.2.5. Área de captação, coeficiente de aproveitamento e precipitação média 49	
4.2.6. Avaliação da satisfação dos usuários de cisternas quanto ao volume ..	51
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
4.3.1. Dimensionamento.....	52
4.3.2. Resultado da avaliação em campo.....	57
4.4. CONCLUSÕES .....	61
4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63
APÊNDICE A.....	65
APÊNDICE B.....	67
APÊNDICE C .....	69
APÊNDICE D .....	73

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa geográfico do Estado do Rio Grande do Norte, com a divisão em Mesorregiões. Fonte: IDEMA, 2010. ....	8
Figura 2 - Mapa de classificação climática segundo Thornthwaite.....	9
Figura 3 – Mapa das isoietas para o RN. ....	10
Figura 4 - Zonas homogêneas do Estado do Rio Grande do Norte pelo agrupamento através do método de K-means para as variáveis PCD, PCP e precipitações médias anuais.....	12
Figura 5 – Valores da precipitação média anual para o Estado do Rio Grande do Norte. ....	15
Figura 6 - Valores do Grau de Concentração da Precipitação para o Estado do Rio Grande do Norte.....	15
Figura 7 – Representação dos grupos de 1 a 6 que corresponde às zonas pluviais homogêneas através do método de Ward para as variáveis PCD e precipitações médias anuais. ....	17
Figura 8 - Divisão dos municípios do RN segundo as zonas homogêneas de planejamento.....	18
Figura 9 - Zonas pluviais homogêneas (através do método de Ward para as variáveis PCD e precipitações médias anuais) e localização dos municípios escolhidos para os dimensionamentos. ....	34
Figura 10 – Representação da variação do volume relacionado com o valor de PCD e da precipitação total anual.....	38
Figura 11 - Divisão das zonas pluviais homogêneas através do método de Ward para as variáveis PCD e precipitações médias anuais.....	46
Figura 12 - Porcentagem do número de residentes por família.....	47
Figura 13 - Porcentagem do número de residências para cada intervalo de área de captação em m <sup>2</sup> .....	49
Figura 14 - Gráfico do volume em função do número de moradores para os volumes calculados do grupo 2. ....	54
Figura 15 - Porcentagem das famílias com seus respectivos usos da água da cisterna.....	59
Figura 16 - Porcentagem de cisternas de acordo com a tipologia de volume (em m <sup>3</sup> ) adequada. ....	59

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Azimute correspondente a cada mês do ano. ....	11
Tabela 2 - Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão de PCD e precipitação para cada grupo. ....	18
Tabela 3 - Valores médios de precipitação (mm) e PCD para cada município. ....	35
Tabela 4 – Valores dos volumes das cisternas (m <sup>3</sup> ) para todas as cidades escolhidas e valor da variância para cada método. ....	36
Tabela 5 – Valores dos volumes das cisternas (m <sup>3</sup> ) pelo método de Andrade Neto e Rippl comparado ao valor do PCD e da precipitação. ....	39
Tabela 6 – Consumos mínimos diários <i>per capita</i> para fins domésticos. Fonte: Dacach (1979). ....	48
Tabela 7 - Resumo dos parâmetros de projeto adotados. ....	50
Tabela 8 - Valores médios de precipitação mensal em mm para cada grupo. ....	51
Tabela 9 - Detalhamento dos questionários aplicados. ....	52
Tabela 10 - Volumes calculados para o grupo 2. ....	53
Tabela 11 - Valores de eficiência para os dados diários de precipitação do município com o maior PCD. ....	54
Tabela 12 - Valores de eficiência para os dados diários de precipitação do município com a menor média de precipitação anual. ....	55
Tabela 13 - Tipologias de volume para os 6 grupos do Rio Grande do Norte. ....	56
Tabela 14 - Valores de eficiência das tipologias do grupo 2 para os dados diários de precipitação do município com a menor média de precipitação anual. ....	57
Tabela 15 - Precipitação média dos anos de 2012 a 2016 e precipitação média anual da série histórica de 1963 a 2010. ....	60

## APRESENTAÇÃO

Esta pesquisa foi desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária – PPGES, sob a orientação do professor Cícero Onofre de Andrade Neto e coorientação da professora Adelena Gonçalves Maia. O trabalho faz parte da pesquisa “Dimensionamento de cisternas e proposta de tipologias de volume para regiões pluviais semelhantes visando a aplicação em larga escala”.

O objetivo geral do projeto é propor volumes de cisternas para cada zona pluvial homogênea do Estado do Rio Grande do Norte, onde se tenha o volume final em função apenas da área de captação e do número de moradores por cada residência. Para isto, foi necessário definir as zonas pluviais homogêneas do Estado. Desta forma, esta dissertação foi dividida em três artigos. O primeiro artigo de título “Determinação de zonas pluviais homogêneas através do índice PCD e da precipitação média anual” tem como objetivo delimitar as regiões de características pluviais (precipitação anual e sua distribuição) semelhantes. O segundo artigo denominado de “Análise dos métodos de dimensionamento de cisternas com base na avaliação de volumes calculados para zonas pluviais homogêneas distintas” tem como objetivo aplicar diferentes metodologias de dimensionamento de cisternas em zonas pluviais homogêneas distintas para avaliar a variação do volume final para cada zona e para cada método. E o terceiro artigo foi intitulado “Dimensionamento de cisternas e proposta de tipologias de volume para diversas regiões pluviais semelhantes”, e o seu objetivo é a determinação das tipologias de volumes de cisternas para regiões pluviais homogêneas.

## 1. INTRODUÇÃO

A alta taxa de crescimento populacional nas cidades tem impactado diretamente a disponibilidade hídrica, dificultando o abastecimento de água em termos quantitativos e qualitativos. No semiárido, esta dificuldade é potencializada pela distribuição irregular espacial e temporal da precipitação, pelas altas taxas de evaporação e pela média anual de precipitação baixa (precipitações médias anuais iguais ou inferiores a 800 mm) (BRASIL, 2005).

Uma forma de buscar a conservação dos recursos hídricos é adotar fontes alternativas de água, como o aproveitamento da água de chuva (ABDULLA e AL-SHAREEF, 2009; KHASTAGIR e JAYASURIYA, 2010; PALLA *et al.*, 2012). A adoção de reservatórios para armazenamento imediato da água da chuva (cisternas) é uma prática já adotada e disseminada em muitos países. Por exemplo, a China tem mais de cinco milhões de cisternas construídas nos últimos anos; no Sul da Austrália, cerca de 80% da população rural e 30% da urbana utilizam a água de chuva como fonte de abastecimento e na Alemanha e no Japão a utilização de cisternas está em um processo de ampliação (ANDRADE NETO, 2013). No Brasil, o armazenamento de água de chuva constitui uma prática difundida, principalmente no meio rural das regiões semiáridas. Somente o programa social P1MC (Programa Um Milhão de Cisternas), da ASA (Articulação do Semiárido), construiu, até janeiro de 2017, mais de 595 mil cisternas (ASA, 2017).

Apesar dos avanços elogiáveis do P1MC, o programa apresenta três importantes falhas tecnológicas: 1) usam a mesma tecnologia de construção de cisternas sem questionamento suficiente; 2) adotam o mesmo volume para as cisternas em todas as situações, sem considerar o regime pluvial local, o número de usuários nem a área de captação; 3) não incorporam adequadamente a divulgação de informação abundante e a execução dos dispositivos para a correta proteção sanitária (barreiras sanitárias físicas e culturais) da água (ANDRADE NETO, 2015).

As cisternas construídas pelo P1MC possuem a capacidade de armazenar 16.000 litros de água, que segundo a ASA (2003) é o suficiente para o consumo doméstico (beber e cozinha) de uma família de 5 pessoas durante o ano, considerando o período de estiagem de oito meses, com área mínima de telhado das casas de 40 m<sup>2</sup> e uma pluviosidade anual de 500 mm.

A adoção de um único volume de armazenamento para o atendimento de famílias com características diferentes e regiões de pluviosidade distintas acarreta em cisternas com volume inadequado, o que pode ocasionar quantidade de água insuficiente ou volume excessivo, e pode, inclusive, comprometer a qualidade da água, tendo em vista que em qualquer situação de escassez hídrica a família acabará recorrendo a outras fontes de água, muitas vezes de qualidade duvidosa. No caso do P1MC o volume único adotado para todas as cisternas construídas é comprovadamente inadequado (SANTOS *et al.*, 2009; COHIM, 2013; COHIM E ORRICO, 2015).

Avaliando a confiabilidade do suprimento de água por meio de sistemas de água de chuva no âmbito do P1MC, Cohim e Orrico (2015) constataram que a cisterna de 16 m<sup>3</sup> não assegura a oferta nos casos de atendimento às famílias numerosas e/ou com pequenos telhados. No caso estudado por eles, em um município da Bahia, verificou-se também que poderiam ser utilizados quatro volumes diferentes: 5.500, 8.000, 10.500 e 15.000 litros. A adoção desses volumes distintos apresentaria maior eficiência, possibilitando um uso melhor dos recursos financeiros disponibilizados para o Programa, permitindo a ampliação do número de beneficiários.

Com base na literatura existente sobre metodologias de dimensionamento de sistemas de captação de água de chuva, é possível concluir que a capacidade de armazenamento não pode ser padronizada (CAMPISANO E MODICA, 2012). Sendo que esta capacidade é acentuadamente influenciada por variáveis específicas do local, como: precipitação, área de telhado, demanda de água potável e número de pessoas por residência (ALADENOLA E ADEBOYE, 2010; EROKSUZ E RAHMAN, 2010; ALLEN E HAARHOFF, 2015).

Domokos (1987) *apud* Soares (2000) divide os métodos utilizados para o dimensionamento de reservatórios em quatro grupos principais, segundo a forma de uso dos dados e a apresentação dos resultados:

I - métodos determinísticos: os dados referentes à precipitação pluviométrica e à demanda são analisados pela curva de massa;

II - métodos aproximados: baseados em relações empíricas conhecidas;

III - métodos de modelação: são também conhecidos como métodos probabilísticos de matriz de transição; e

IV - métodos de análises de sistemas: sendo linear, não linear ou programação dinâmica.

Na literatura se observa os mais variados tipos de métodos de dimensionamento, como métodos que incluem análises extremamente complexas envolvendo modelos matemáticos com base em programação linear (OKOYE *et al.*, 2015), outros utilizam métodos mais simples baseados em diagramas de massa como Rippl (CAMPOS, 2004), outros estudos adotam programas computacionais (GHISI E SCHONDERMARK, 2013).

Em uma análise comparativa de métodos de dimensionamento, Amorim e Pereira (2008) constataram que o dimensionamento do reservatório geralmente é realizado por métodos iterativos, como o método de Rippl e o método de análise de simulação de um reservatório com capacidade suposta.

Há na literatura diversos trabalhos que realizam comparações entre os métodos de dimensionamento de reservatório de acumulação de água de chuva, porém a parcela mais significativa se direciona ao uso não potável ou ao uso potável e não potável em regiões urbanas (COHIM *et al.*, 2008; SANTOS e TAVEIRA-PINTO, 2013; LONDRA *et al.*, 2015). Comparações como essas não podem ser aplicadas em situações de dimensionamento em regiões rurais para o uso exclusivamente potável, isso ocorre porque, segundo Cohim *et al.* (2008), nessas regiões a concepção do sistema tem uma abordagem diferente, já que a água pluvial pode ser a única fonte acessível e o dimensionamento do sistema de captação utiliza o princípio de coletar e armazenar a maior quantidade de água durante o período de chuva para uso nos períodos de estiagem.

O dimensionamento de cisternas deve ser realizado com bastante cautela, tendo em vista que o custo do reservatório pode variar de 50% a 85% do custo total de um sistema de aproveitamento de água de chuva (THOMAS, 2001). Outro fator importante se estabelece na ligação direta que existe entre o dimensionamento e a eficiência ou confiabilidade do sistema de aproveitamento de água de chuva, por isso deve-se buscar um ponto ótimo na combinação do volume de reservação e da demanda a ser atendida, que resulte na maior eficiência, com o menor gasto possível (PHILIPPI *et al.*, 2006).

A adoção do mesmo volume para a construção de milhares de cisternas, como é feito no P1MC, é assim pela dificuldade que há em dimensionar e construir cisternas diferentes em cada situação. O problema relacionado a isso é o desatendimento a algumas famílias, que acaba comprometendo a credibilidade do programa. Realizar o dimensionamento particular de cada cisterna em um programa que se propõe a construir um milhão de cisternas é inviável. Porém, avalia-se aqui a possibilidade de

dimensionamento para cada região com pluviosidade homogênea do Estado, ou seja, para cada zona que apresente características similares em termos de variáveis pluviométricas, assim o volume seria obtido considerando apenas três fatores: área de captação, número de habitantes por residência e consumo diário per capita. Desta forma, como sugere Andrade Neto (2013), seria possível construir tabelas com tipos de volumes (tipo A, B, C ou D, por exemplo) para atender às diversas situações, no qual cada letra equivale a um volume de cisterna que varia apenas em função da área de captação e número de moradores, sendo o consumo diário um valor fixo.

Assim, o objetivo desta pesquisa é delimitar zonas pluviais homogêneas para o Estado do Rio Grande do Norte, avaliar a variação de volumes de cisternas com diferentes métodos de dimensionamento para estas zonas e, por fim, determinar tipologias de volumes de cisternas para regiões com regimes pluviais semelhantes, avaliando a possibilidade de aplicação em campo.

## 2. Capítulo 1 - DETERMINAÇÃO DE ZONAS PLUVIAIS HOMOGÊNEAS ATRAVÉS DO ÍNDICE PCD E DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL

### RESUMO

O dimensionamento de sistemas de captação e aproveitamento imediato de água de chuva é fortemente influenciado pela variação da precipitação, bem como pela sua variabilidade temporal. A adoção de índices como o PCD (*Precipitation Concentration Degree*) permite estimar a forma como a precipitação se distribui ao longo dos meses do ano. O método de Ward é uma das ferramentas estatísticas amplamente utilizadas em avaliações climáticas, sendo capaz de agrupar os dados que apresentam similaridade quanto às características avaliadas. Através do método de Ward e utilizando a precipitação anual média e o PCD como dados de entrada, este trabalho objetiva determinar as zonas pluviais homogêneas do Estado do Rio Grande do Norte. Os resultados mostraram que, na medida em que se percorre o Estado de oeste a leste, os valores de PCD tendem a diminuir, demonstrando que a precipitação na medida em que se aproxima da região leste apresenta melhor distribuição, sendo mais concentrada ao se aproximar da região oeste. A relação inversa pode ser observada ao se avaliar os valores de precipitação, os grupos localizados mais a leste do Estado possuem precipitação mais elevada, enquanto os grupos mais a oeste possuem valores de precipitação mais baixos.

**Palavras-chave:** PCD, Precipitação, Agrupamento.

**ABSTRACT**

The sizing of the systems of capitation and immediate use of the rainwater is influenced by variation of precipitation, as well as by its temporal variability. The adoption of indexes as the PCD (Precipitation Concentration Degree) allows estimate the way as the precipitation is distributed throughout the months of the year. The Ward method is one of the statistics tolls largely used in climate assessments, being able to group the data that present similarity with the characteristics evaluated. Beyond of the Ward method and using the average annual precipitation and the PCD as the entrance data, this work aims determine the homogeneous pluvial zones of the Rio Grande do Norte State. The results showed that, in so far as it goes through the State from west to east, the PCD values tends to decrease, showing that the precipitation in so far as it approaches the eastern region, it has a better distribution, being more concentrated as it approaches the western region. The inverse relationship can be observed when evaluating precipitation values, the localized groups more for the east of State have values of precipitations lower.

**Keywords:** PCD, Precipitation, Grouping.

## 2.1. INTRODUÇÃO

A precipitação é uma variável meteorológica de grande importância no ciclo hidrológico, tendo a capacidade de influenciar nas mais diversas atividades econômicas e sociais de uma determinada região, sendo o sistema de captação de água de chuva diretamente afetado por essa variável, bem como pela sua variabilidade temporal. Em regiões semiáridas, a distribuição irregular da chuva é um fator que potencializa a necessidade de avaliação da sua variabilidade temporal, dado que o volume de cisternas está diretamente ligado às características pluviais de cada local ou região.

A avaliação da precipitação deve ir além da análise do seu valor médio anual, deve-se buscar índices que possibilitem avaliar a variação temporal da precipitação ao longo do ano. A adoção de índices como o PCD (*Precipitation Concentration Degree*) permite estimar a forma como a precipitação se distribuiu ao longo dos meses do ano. Este índice foi desenvolvido por Zhang e Qian (2003) na avaliação das características da precipitação do noroeste da China.

A adoção de ferramentas estatísticas possibilita a definição das zonas homogêneas através de análise de agrupamento, que visa encontrar uma maneira de descrever padrão de similaridade entre uma série de variáveis não previamente relacionadas, de forma a classificá-los em grupos que sejam heterogêneos entre si e homogêneos dentro deles. Dentre os métodos de agrupamento utilizados, o método de Ward é o mais utilizado quando se trata de avaliações climáticas.

O objetivo deste trabalho é determinar zonas pluviais homogêneas do Estado do Rio Grande do Norte com base na avaliação da precipitação total anual e da sua distribuição ao longo do ano (índice PCD).

## 2.2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.2.1. Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no Estado do Rio Grande do Norte, que está situado entre os paralelos de 4°49'53" e 6°58'57" latitude sul, e os meridianos de 35°58'03" e 38°36'12" a oeste de Greenwich, localiza-se nos extremos das porções leste e norte da região Nordeste do país. Possui aproximadamente 3,4 milhões de habitantes no total, sendo 700 mil residentes na zona rural. A área do Estado é de 52.811 km<sup>2</sup>, que representa 0,62% do território brasileiro (IBGE, 2010). Tem como limites o Estado do Ceará a Oeste, a Paraíba ao Sul e o Oceano Atlântico a Leste e Norte.

O Estado do Rio Grande do Norte é dividido em quatro mesorregiões geográficas, como mostra a Figura 1, Oeste Potiguar, Central Potiguar, Agreste Potiguar e Leste Potiguar.

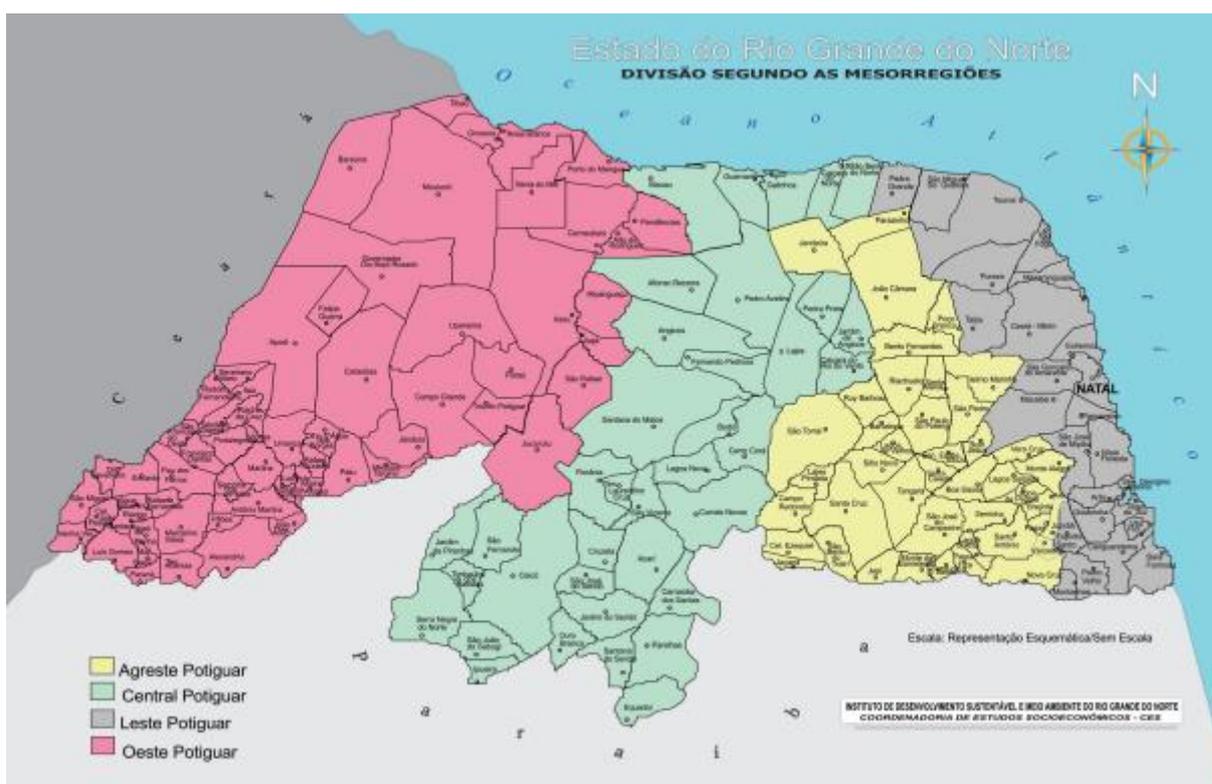


Figura 1 - Mapa geográfico do Estado do Rio Grande do Norte, com a divisão em Mesorregiões. Fonte: IDEMA, 2010.

Segundo a SEMARH - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos - (2005), o Rio Grande do Norte apresenta quatro diferentes tipos de clima, conforme a Figura 2:

**DdA'a'**: Clima Semi-árido, com pequeno ou nenhum excesso de água, megatérmico com baixa variação estacional.

**EdA'a'** – Clima árido, com pequeno ou nenhum excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional.

**C1WA'a'** – Clima Seco e Sub-úmido, com moderado excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional.

**C1dA'a'** – Clima Seco e Sub-úmido, com pequeno ou nenhum excesso de água, megatérmico, com baixa variação estacional.

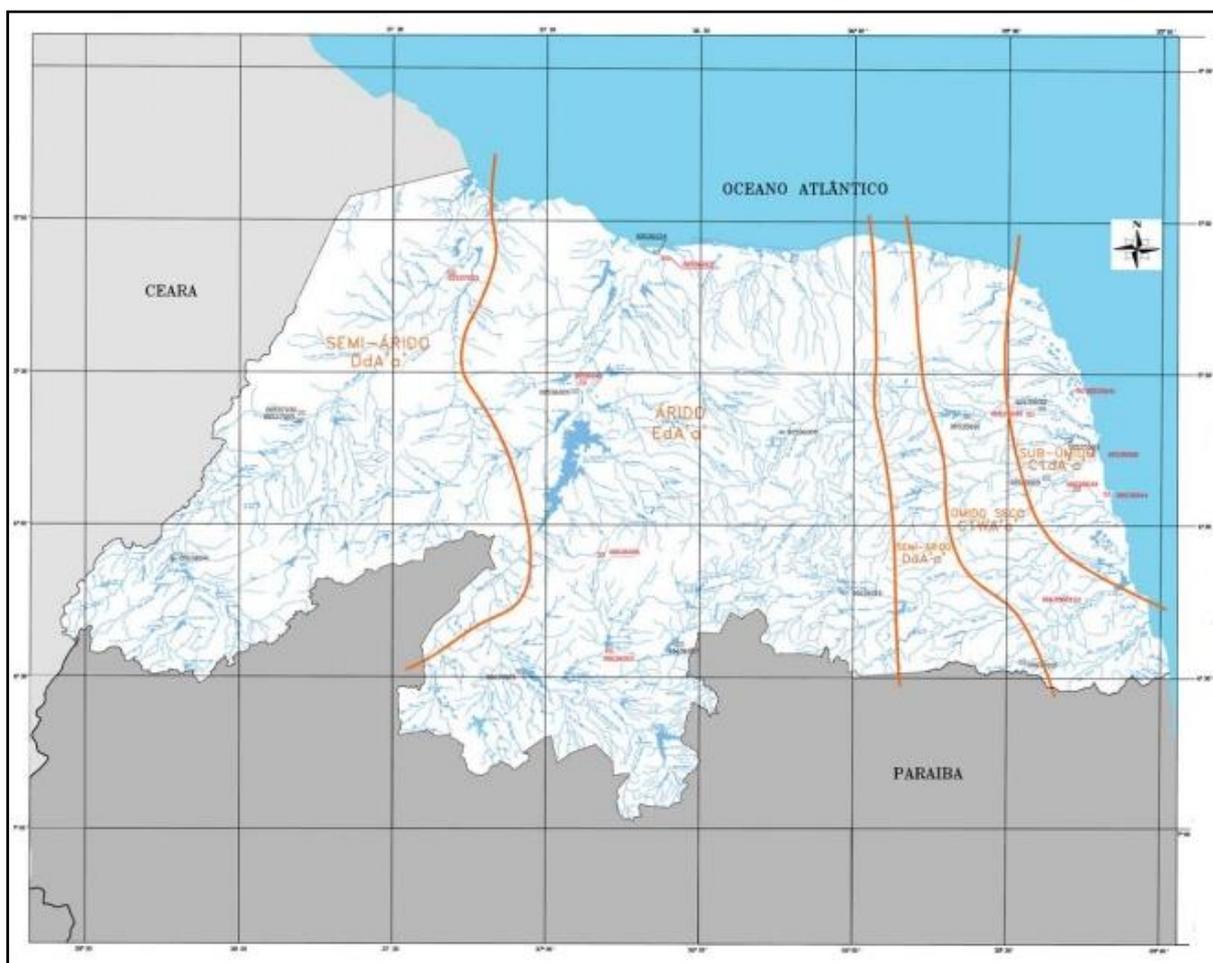


Figura 2 - Mapa de classificação climática segundo Thornthwaite.  
Fonte: SEMARH, 2005.

O Estado do Rio Grande do Norte apresenta precipitação média anual de 840 mm, sendo que esse total médio varia entre as diferentes regiões, desde 448 mm na cidade de Equador na Mesorregião Central Potiguar, até 1.640 mm na cidade de Natal (capital do Estado) localizada na Mesorregião Leste Litorânea. Desta forma o Estado apresenta grande variabilidade na distribuição pluviométrica devido a sua localização geográfica, orografia e sistema de ventos locais (SHIMIDT e MATTOS, 2014). A Figura 3 apresenta a distribuição pluviométrica do Estado do Rio Grande do Norte com base na série de dados de 1963 a 2010 de 144 estações pluviométricas.

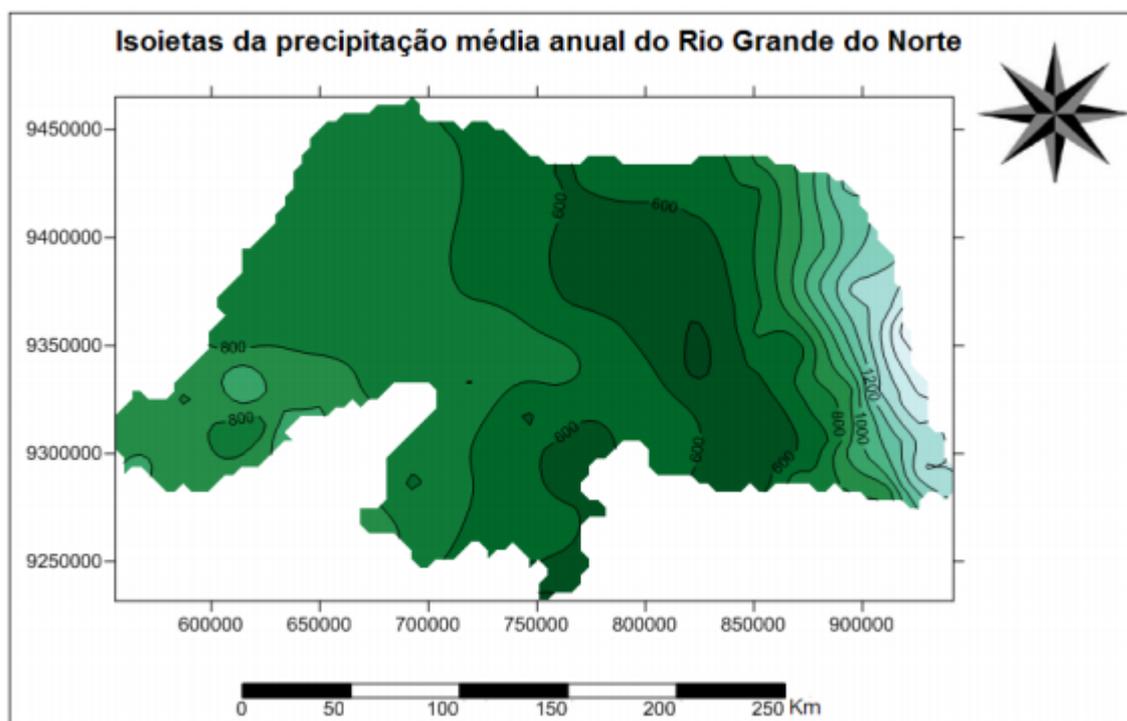


Figura 3 – Mapa das isoietas para o RN.  
Fonte: Araújo *et al.*, 2015.

### 2.2.2. Dados de precipitação

Os dados de precipitação usados na definição das zonas pluviais homogêneas do Estado foram cedidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN (EMPARN). Foram utilizados os dados de 167 estações pluviométricas, dos 167 municípios do Rio Grande do Norte, com dados de 1963 a 2010 para 156 municípios e de 1964 a 2010 para os 11 restantes. Os dados foram repassados pela empresa com o preenchimento de falhas já realizado.

Este estudo adota o índice PCD (*precipitation concentration degree*) para que se possa delimitar as zonas homogêneas do Estado. A adoção do índice PCD se justifica pela sua capacidade de expressar de forma efetiva a associação existente entre a distribuição anual da precipitação e o padrão de eficiência das cisternas (ANDRADE, 2014). Para o cálculo do PCD as precipitações mensais são consideradas como grandezas vetoriais, orientadas em um círculo trigonométrico. O valor de PCD é definido, segundo Li *et al.* (2011), como:

$$R_i = \sum r_{ij} \quad (1)$$

$$R_{xi} = \sum r_{ij} \cdot \text{sen}\theta_j \quad (2)$$

$$R_{yi} = \sum r_{ij} \cdot \cos\theta_j \quad (3)$$

$$PCD_{ij} = \frac{\sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}}{R_i} \quad (4)$$

Nas quais:

$R_i$  = Precipitação total no ano  $i$ ;

$i$  = Ano;

$j$  = Mês;

$r_{ij}$  = Precipitação total mensal no mês  $j$  e no ano  $i$ ;

$\theta_j$  = Azimute do mês  $j$ . Conforme a Tabela 1:

$PCD_{ij}$  = Representa o grau em que a precipitação total do ano “ $i$ ” está concentrada em 12 meses.

Tabela 1 – Azimute correspondente a cada mês do ano.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
$\theta$	90°	60°	30°	0°	330°	300°	270°	240°	210°	180°	150°	120°

Fonte: Li et al., 2011.

O valor de PCD varia de 0 a 1, sendo o valor de 1 obtido quando a precipitação total anual se concentra em um mês específico e o valor próximo a 0 quando a precipitação se distribui de forma uniforme ao longo dos meses do ano.

Araújo *et al.* (2015) determinou as áreas homogêneas do Rio Grande do Norte em termos do regime de precipitação do Estado, foi adotado a precipitação média anual, os índices PCD e PCP (*precipitation concentration period* – que reflete o mês no qual a precipitação está mais concentrada) como o conjunto de variáveis para a determinação dos quatro grupos homogêneos, como indicado na Figura 4. Foram utilizados dados de 1963 a 2010 de 144 estações pluviométricas. O estudo concluiu que o grupo identificado na região leste do Estado é caracterizado como a região de maior precipitação anual, melhor distribuição desta precipitação e concentração de mesma no mês de maio. Na região situada mais a oeste a precipitação é no início de maio, apresenta menor precipitação anual e maior concentração da precipitação. A região central do Estado apresenta elevada concentração da precipitação no mês de abril e é a região com menor precipitação anual. Na região oeste do Estado, as chuvas se concentram no final do mês de março, a região apresenta a pior

distribuição da precipitação no Estado e as precipitações anuais nesta região são mais elevadas do que na região central.



Figura 4 - Zonas homogêneas do Estado do Rio Grande do Norte pelo agrupamento através do método de K-means para as variáveis PCD, PCP e precipitações médias anuais.  
Fonte: Araújo *et al.*, 2015.

A necessidade de refazer o trabalho realizado por Araújo *et al.* (2015) na delimitação das zonas homogêneas do Estado se justifica porque o mesmo adotou os índices PCP e PCD, sendo que no dimensionamento de cisternas o índice PCP não é significativo, tendo em vista que a influência do regime de precipitação no dimensionamento das cisternas está ligada à distribuição temporal da precipitação e não ao mês que se chove mais. Além disso, é necessário incluir os demais municípios, tendo em vista que 23 cidades não foram consideradas na delimitação das zonas por Araújo *et al.* (2015). Outro fator relevante é que a divisão de quatro zonas não apresenta a precisão necessária para o que se busca nesse estudo, sendo necessário avaliar a possibilidade de divisão em mais grupos.

Shimidt e Mattos (2014) identificaram os períodos secos e chuvosos de cada mesorregião potiguar avaliando dados de 48 estações de coleta, no período de 1963 a 2007, e concluíram que nas mesorregiões Oeste e Central o período chuvoso vai de Fevereiro a Maio, já no Agreste e Leste Potiguar o período de chuvas se estende de Fevereiro a Julho.

### 2.2.3. Análise de agrupamentos

A análise de agrupamento visa encontrar uma maneira de descrever padrão de similaridade entre uma série de variáveis não previamente relacionadas, de forma a classificá-los em grupos que sejam heterogêneos entre si e homogêneos dentro deles. Os métodos de agrupamento existentes são classificados em hierárquicos e não-hierárquicos. A principal diferença entre eles reside no fato de que, ao contrário do método hierárquico, os métodos não-hierárquicos produzem uma partição em um número de grupos previamente fixado.

Neste estudo, adotou-se o método hierárquico de Ward (1963), que é um método simples e amplamente utilizado, apresentando resultados satisfatórios. Este é um dos métodos mais utilizados em estudo de agrupamento tendo sido empregado em vários trabalhos na área climatológica, como: Bao e Wallace (2015); Sahine Cigizoglu (2013); Lyra *et al.* (2006). A medida de dissimilaridade adotada foi a distância euclidiana (EVERITT E DUNN, 1991), que é calculada através da Equação 5.

$$d_e = \left[ \sum_{j=1}^n (P_{p,j} - P_{k,j})^2 \right]^{0,5} \quad (5)$$

Na qual:

$d_e$  é a distância euclidiana;

$P_{p,j}$  e  $P_{k,j}$  são as variáveis quantitativas  $j$  dos indivíduos  $p$  e  $k$ , respectivamente.

O método de Ward forma grupos, minimizando a dissimilaridade, ou minimizando o total das somas de quadrados dentro dos grupos, também conhecida como soma de quadrados dos desvios (SQD). Em cada etapa do procedimento, são formados grupos, de tal maneira que a solução resultante tenha o menor SQD dentro deles (EVERITT E DUNN, 1991). O valor da soma do quadrado dos desvios é obtido através da Equação 6:

$$SQD = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (6)$$

Em que  $n$  é o número total de elementos do agrupamento e  $x_i$  é o  $n$ -ésimo elemento do agrupamento.

Este método pode ser resumido nas seguintes etapas: 1) cálculo das médias das variáveis; 2) obtenção da distância euclidiana entre essas médias; 3) soma das distâncias para todos os indivíduos e 4) minimização da variância dentro dos grupos (SILVA *et al.* 2001).

O resultado final da análise de agrupamento pelos métodos hierárquicos aglomerativos, neste caso o método de Ward (1963), é o dendrograma, que é um gráfico que mostra as linhas ligadas segundo os níveis de similaridade que agrupam pares de variáveis (MEZZOMO, 2005). Através de um corte transversal no dendrograma é possível definir o número de grupos a ser adotado. O número de zonas homogêneas será definido com base na avaliação criteriosa do dendrograma gerado pelo método.

O software utilizado para geração dos grupos foi o sistema estatístico Action Stat (EQUIPE ESTATCAMP, 2014), que utiliza o R como linguagem de programação estatística.

### **2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os valores médios de precipitação estão representados na Figura 5. O valor máximo de precipitação média anual foi 1663,55 mm na cidade de Natal (Leste Potiguar) e o mínimo foi 467,3 mm na cidade de São Tomé (Agreste Potiguar). O valor de PCD calculado para as 167 estações do Rio Grande do Norte gerou o mapa da Figura 6.

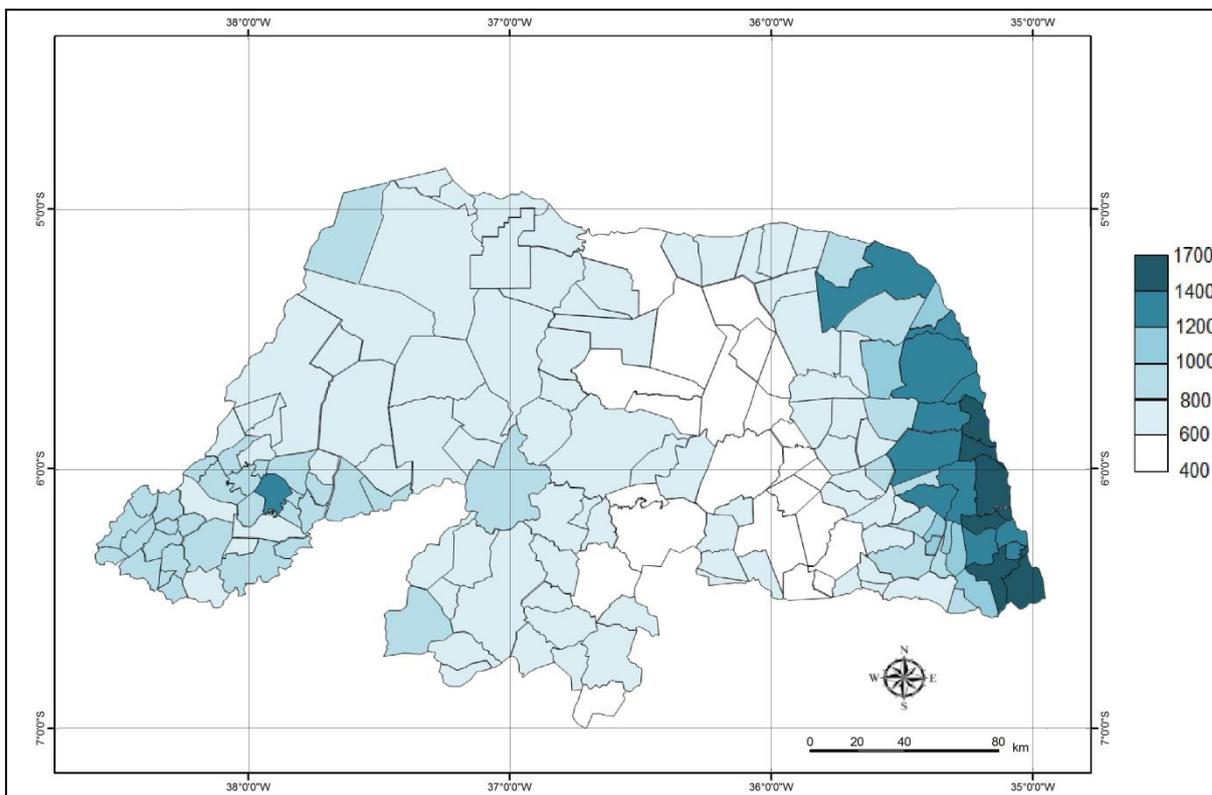


Figura 5 – Valores da precipitação média anual para o Estado do Rio Grande do Norte.

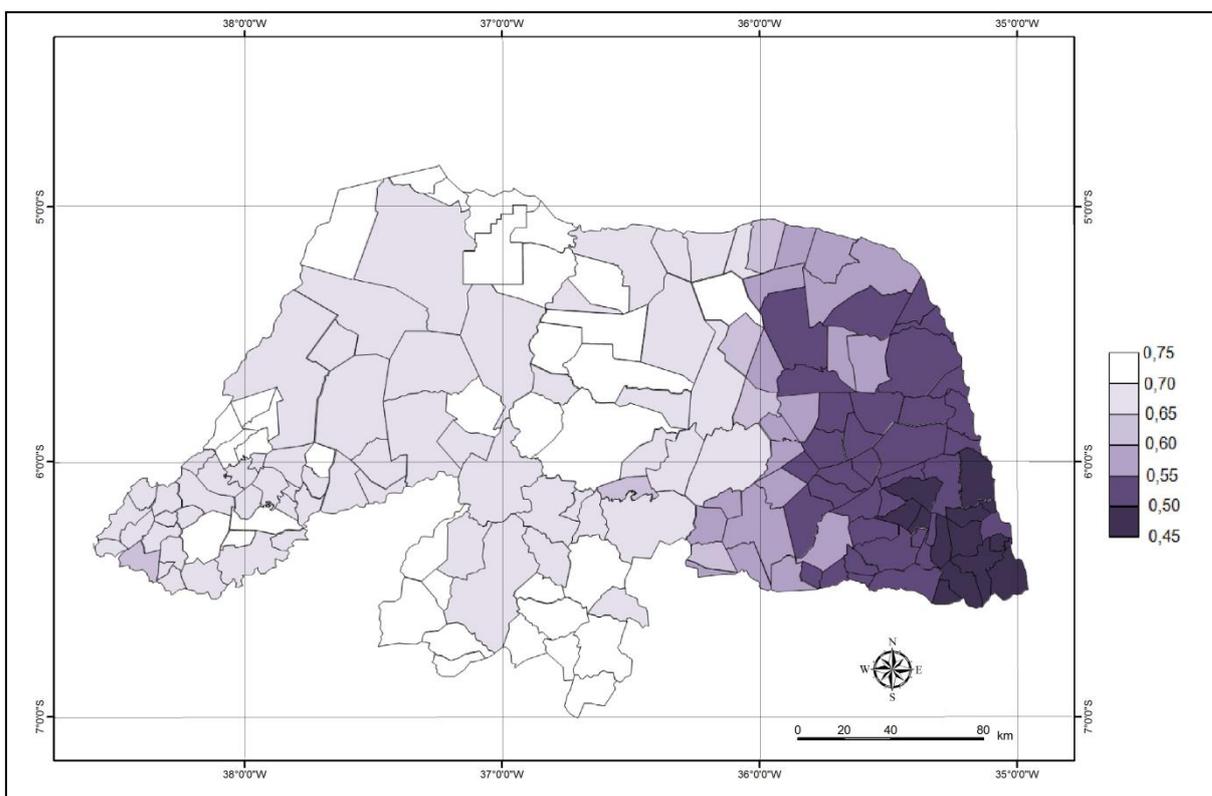


Figura 6 - Valores do Grau de Concentração da Precipitação para o Estado do Rio Grande do Norte.

Os municípios que apresentaram os menores valores de PCD e, conseqüentemente, melhor distribuição da precipitação, estão situados na região leste do Estado, onde predomina o clima úmido e sub-úmido. Na parte mais a oeste e central do Estado os valores de PCD foram maiores. Os valores máximos e mínimos estão nos extremos do Estado, variando de 0,75 na cidade de Riacho da Cruz (Oeste) a 0,47 na cidade de Canguaretama (litoral Sul – Leste Potiguar).

Com os valores de PCD e precipitação média anual (Figuras 5 e 6) foi aplicado o método de agrupamento de Ward (1963) para encontrar as zonas pluviais homogêneas para o Estado do Rio Grande do Norte, o resultado está representado na Figura 7. Foi adotado 6 grupos e a escolha foi feita com base na avaliação da variação da eficiência de cisternas. Para as 167 cidades do Estado foi simulado através do modelo Supply After Spillage (YAS) uma cisterna de 16m<sup>3</sup>. O modelo YAS, descrito em Fewkes (1999), é um método de dimensionamento de cisterna que simula a operação do reservatório em um período de tempo (neste caso 1 dia) de acordo com equações que descrevem o fluxo de massa com algoritmos específicos. A simulação foi feita para uma residência com 5 moradores, demanda de 20 L/hab.dia, área de captação de 85 m<sup>2</sup> e coeficiente de runoff de 0,8. Os valores de eficiência foram analisados para as divisões de 4 a 8 grupos e foi avaliada a diferença entre a maior e a menor eficiência nos grupos (máxima, mínima e média). O valor médio de diferença foi menor na divisão de 8 grupos, porém o valor máximo de diferença foi menor na divisão de 6 grupos, por isso foi adotado esta divisão.

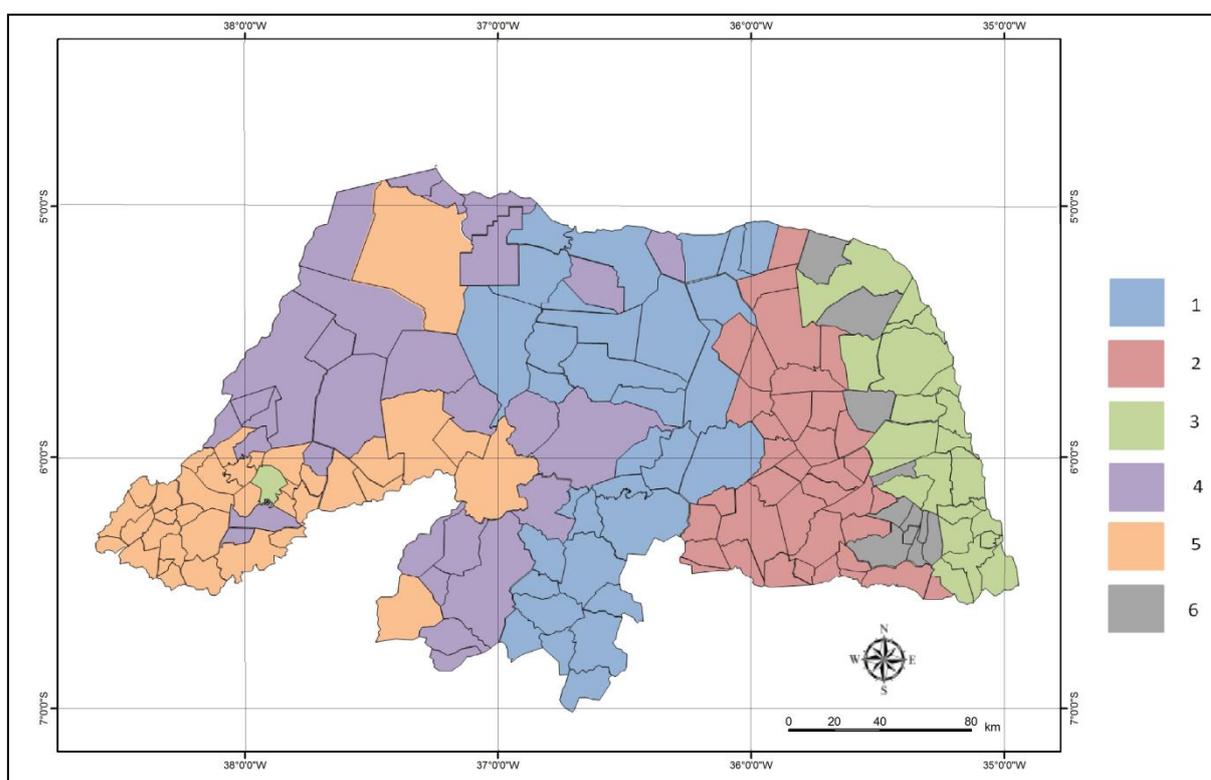


Figura 7 – Representação dos grupos de 1 a 6 que corresponde às zonas pluviais homogêneas através do método de Ward para as variáveis PCD e precipitações médias anuais.

Alguns municípios se destacaram por estarem presentes no mesmo grupo, porém geograficamente bem distantes. Como é o caso do município de Martins, que pertence ao grupo 3 (região litorânea do Estado) mas está localizado no outro extremo do Estado. Isto se justifica pelo fato de que este município possui um microclima devido à sua altitude, e suas características se assemelham aos municípios que apresentam valores de precipitação mais elevados. Observe que na Figura 6 o município de Martins também se destaca, apresentando precipitação bem acima dos municípios que estão a sua volta.

Um aspecto relevante é a semelhança dos grupos definidos (Figura 7) com a divisão segundo as zonas homogêneas feito pelo IDEMA – Instituto de Defesa do Meio Ambiente – representada na Figura 8, é possível perceber que os 8 grupos da Figura 8 estão representados na Figura 7. O grupo 3 equivale à zona Litoral Oriental, o Alto Apodi equivale ao grupo 5 e a região Mossoroense é representada por uma parcela do grupo 4. Essa similaridade se justifica pelo fato que na divisão do Estado representado na Figura 8, foram levados em consideração diversos fatores como clima, vegetação, relevo, e tudo isso impacta diretamente nas características pluviais.

Os municípios que apresentaram discrepância com relação aos seus vizinhos ficaram desta forma por outras características da sua região que influenciam diretamente nas características pluviais, como variação da altitude e dos ventos locais. A Tabela 2 apresenta a variação dos valores de PCD e precipitação média anual para cada grupo.



Figura 8 - Divisão dos municípios do RN segundo as zonas homogêneas de planejamento. Fonte: IDEMA, 2010.

Tabela 2 - Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão de PCD e precipitação para cada grupo.

Grupos	PCD				Precipitação (mm)			
	Mínimo	Máximo	Médio	Desvio padrão	Mínima	Máxima	Médio	Desvio padrão
Grupo 1	0,635	0,723	0,688	0,024	467,3	684,6	608,8	53,3
Grupo 2	0,494	0,616	0,553	0,034	510,1	827,5	652,8	89,6
Grupo 3	0,469	0,674	0,514	0,044	1069,7	1663,5	1337,4	128,6
Grupo 4	0,653	0,749	0,707	0,023	649,4	801,4	731,4	30,7
Grupo 5	0,642	0,708	0,682	0,016	781,7	991,3	855,7	53,2
Grupo 6	0,493	0,554	0,517	0,021	876,3	1057,8	967,25	61,8

O grupo 3 apresenta os maiores valores de precipitação e o menor PCD médio, isso significa que é a região onde mais chove e uma das que apresenta melhor

distribuição da precipitação. Contrário a isso, o grupo 1 possui os menores valores de precipitação, e um dos maiores de PCD, sendo então a região em que menos chove no Estado e uma das que apresenta a maior concentração da precipitação.

De uma forma geral, o valor de PCD variou de 0,514 a 0,707 e a precipitação média anual variou de 608,8 a 1337,4 mm, demonstrando que, apesar de ser um Estado relativamente pequeno, o Rio Grande do Norte apresenta variação acentuada com relação às suas características pluviais.

## **2.4. CONCLUSÕES**

Podemos concluir que o Estado do Rio Grande do Norte apresenta variação intensa relacionado às suas características pluviais e que pode ser dividido em seis zonas pluviais homogêneas distintas.

Com relação à avaliação dos grupos divididos, é possível perceber que, na medida em que se percorre o Estado de oeste a leste, os valores de PCD tendem a diminuir, demonstrando que a precipitação na medida em que se aproxima da região leste apresenta melhor distribuição, sendo mais concentrada ao se aproximar da região oeste. A relação inversa pode ser observada ao se avaliar os valores de precipitação, os grupos localizados mais a leste do Estado possuem precipitação mais elevada, enquanto os grupos mais a oeste possuem valores de precipitação mais baixos.

## 2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, L. R. **A influência do regime pluviométrico no desempenho de sistemas de aproveitamento de água de chuva**. 2014. 33 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – UFRN. Natal, 2014.

ARAÚJO, J. M. S.; MAIA, A. G.; NEVES, J. A. Uso dos índices PCP e PCD na determinação de regiões com precipitação pluvial homogênea. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 17. p. 119-139. 2015.

BAO, M.; WALLACE, J. M.; Cluster analysis of Northern Hemisphere Wintertime 500-hPa flow regimes during 1920-2014. **Journal of the atmospheric sciences**. v. 72. p. 3597-3608. 2015.

EQUIPE ESTATCAMP. **Software Action**. Estatcamp- Consultoria em estatística e qualidade, São Carlos - SP, Brasil. 2014. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/>> Acesso em: 30 ago 2016.

EVERITT, B.S.; DUNN, G. **Applied multivariate analysis**. London: Edward Arnold, 1991. 400p.

FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 323-333, 1999.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Síntese das características do Estado do Rio Grande do Norte. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rn>>. Acesso em: 24 out 2015.

IDEMA, Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Anuário Estatístico 2010. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0Bx0BXxMKFEmdbUIPVk1Pa3l0NDQ/edit>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. M. S. SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS, P. C.. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pesq. agropec. bras**, Brasília, v.41, n.2, p.205-215, fev. 2006.

LI, X.; JIANG, F.; LI, L.; WANG, G.. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. **Int. J. Climatol**. 31: 1679–1693, 2011.

MEZZOMO, D. **Modelos prognósticos da temperatura mínima média numa região homogênea do Rio Grande do Sul**. 2005. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Rio Grande do Sul, 89 p. 2005.

SAHIN, S.; CIGIZOGLU, K. H.; The effect of the relative humidity and the specific humidity on the determination of the climate regions in Turkey. **Theoretical Applied Climatology**. p. 469- 481. 2013.

SCHIMIDT, D. M.; MATTOS, A.; Ciclo anual das chuvas e as condicionantes do regime de precipitação no Estado do Rio Grande do Norte. In: MATTOS, A.; MATTOS, K. M. C. (org.). **Projeto MEVEMUC – Monitoramento da Evaporação e as Mudanças Climáticas**. 1 ed. João Pessoa – PB: Moura Ramos Gráfica editora. 2014. Cap. 6, p. 129-146.

SEMARH, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e de Recursos Hídricos. **Programa de desenvolvimento sustentável e convivência com o semiárido potiguar: Relatório de Avaliação Ambiental**. Natal, 2005.

SILVA, F. M.; LERMEN, V. K.; NERY, J. T.. Variabilidade interanual da precipitação na bacia do rio Iguaçú. *Acta Scientiarum Maringá*, v. 23, n. 6, p. 1439-1444, 2001.

WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v.58, p.236-244, 1963.

ZHANG, L. J.; QIAN, Y. F. A study on the feature of precipitation concentration and its relation to flood -producing in the Yangtze River Valley of China. **Chinese journal of geophysics**. 47: 709-718, 2003.

### **3. Capítulo 2 – ANÁLISE DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE CISTERNAS COM BASE NA AVALIAÇÃO DE VOLUMES CALCULADOS PARA ZONAS PLUVIAIS HOMOGÊNEAS DISTINTAS**

#### **RESUMO**

A utilização de água de chuva como fonte de água potável é uma das soluções alternativas para o abastecimento de água mais disseminada no Brasil. Um sistema de captação de água de chuva adequado deve ser criteriosamente projetado, adotando-se o método de cálculo adequado e considerando todos os parâmetros de projeto, como área de captação, demandas de água, número de moradores e características pluviais. Este trabalho teve como objetivo aplicar métodos diferentes de dimensionamento de cisternas em zona pluviais homogêneas distintas para avaliar a variação dos volumes finais para cada zona e para cada método. Uma parcela dos métodos avaliados foi considerada inadequada porque não apresentou variação do volume conforme variou a precipitação. Pela análise da variação dos volumes, das precipitações e os valores de PCD, foi possível constatar que a distribuição da precipitação (PCD) tem mais influência no volume final da cisterna do que o valor de precipitação média. Através da variação do volume final das cisternas é possível constatar o impacto que existe na variação do regime pluvial no dimensionamento de cisternas, comprovando que não se pode padronizar o volume de cisterna para regiões diferentes, ainda que no mesmo Estado.

**Palavras-chave:** Áreas pluviais homogêneas, dimensionamento de cisternas, PCD.

**ABSTRACT**

The utilization of the rainwater as source of drinking water is one of the alternative solutions for the water supply more disseminated in Brazil. A rainwater capitation system adequate should be carefully designed, adopting the appropriate calculation method and considering all the project parameters, as capitation area, water demand, number of residents and pluvial characteristics. This work had as aim apply different methods of cistern sizing in different homogeneous pluvial zone for evaluate the variation of the final volume for each zone and for each method. A portion of the methods evaluated was considered inadequate because did not present variation of volume as precipitation varied. By the analysis of the volumes variation, precipitations and the PCD values, was possible detect that the precipitation distribution (PCD) has more influence in the final volume of cisterns than the average precipitation value. Beyond of the final variation volume of the cistern it is possible detect the impact that there is in the variation of the rain regime in the cistern sizing, proving that it cannot standardize the cistern volume for different regions, instead that in the same State.

**Keywords:** Pluvial homogeneous areas, sizing cisterns, PCD.

### 3.1. INTRODUÇÃO

O acesso à água potável tem se tornado um desafio em diversas regiões do país, tanto em termos quantitativos como qualitativos. Sabe-se que o aspecto da quantidade não pode ser levado em consideração como um fator isolado, ao se avaliar disponibilidade hídrica, o aspecto qualitativo e a possibilidade de potabilização da água tem grande influência.

Em situações mais desfavoráveis quanto aos aspectos hidrológicos de escassez de chuva e altas taxas de evaporação, o atendimento do abastecimento de água é ainda mais difícil. Além disso, a eutrofização dos mananciais é acelerada pelo lançamento indiscriminado de esgotos, o que dificulta ainda mais o processo de potabilização da água. Brasil *et al.* (2015) avaliaram a eutrofização de 40 reservatórios no Estado do Rio Grande do Norte e a conclusão foi que todos eles se encontram em situação eutrófica ou hipertrófica quanto ao nível de fósforo total. Desta forma, a adoção de fontes alternativas de água, como a captação e uso imediato da água de chuva, se apresenta como uma das soluções para o abastecimento de água em situações diversas.

A adoção de cisternas para armazenamento imediato da água da chuva é uma prática já adotada e disseminada em muitos países (ANDRADE NETO, 2013). Quando captada, armazenada e utilizada de forma correta, com barreiras sanitárias e manejo adequado, a água de chuva apresenta excelente qualidade para diversos usos, inclusive para beber. No Brasil, o uso de água de chuva constitui uma prática difundida, principalmente no meio rural das regiões semiáridas.

O reservatório representa a parcela mais onerosa em um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva, variando entre 50% a 85% do custo total do sistema (THOMAS, 2001), e deve ser dimensionado considerando todos os aspectos relevantes para o cálculo correto: características pluviométricas, área de captação, perdas, consumo per capita e demanda (número de usuários). Tomaz (2012) afirma que até o presente momento não se achou um método de dimensionamento de um reservatório para armazenamento de água de chuva que não tenha um problema. Desta forma, apesar de existir inúmeros métodos, é preciso propor novas metodologias e avaliar qual deles apresenta melhor aplicabilidade em situações diversas. Visto isso, o objetivo do presente trabalho é aplicar métodos diferentes de dimensionamento de cisternas em zona pluviais homogêneas distintas para avaliar a variação dos volumes finais para cada zona e para cada método.

### 3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Estado do Rio Grande do Norte, na região Nordeste do Brasil, que tem área total de 52.811 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Com base na análise dos dados de 1963 a 2010, de 156 estações de coleta, e dados de 1964 a 2010 de 11 estações, o Estado do RN apresenta precipitação média anual de 813 mm, sendo que esse total médio varia entre as diferentes regiões, desde 467 mm até 1.664 mm. A grande variabilidade na distribuição pluviométrica é devido à localização geográfica, orografia e sistema de ventos locais (SHIMIDT e MATTOS, 2014).

Neste estudo, o Estado foi dividido em zonas pluviais homogêneas, partindo de uma série de dados de precipitação de 167 estações pluviométricas distribuídas nas quatro mesorregiões do Estado. Foi calculado o valor do grau em que a precipitação total anual é distribuída ao longo dos doze meses, através da variável *precipitation concentration degree* (PCD), e com isso foi possível delimitar as zonas que apresentam as mesmas características em termos de variabilidade temporal da precipitação. A adoção do índice PCD se justifica pela capacidade de expressar de forma efetiva a associação entre a variabilidade temporal da precipitação e o padrão de eficiência das cisternas (ANDRADE, 2014). Para o cálculo do PCD as precipitações mensais são consideradas como grandezas vetoriais, orientadas em um círculo trigonométrico, e seu valor varia de 0 a 1, sendo o valor 1 obtido quando a precipitação total anual se concentra em um mês específico e o valor próximo a 0 é quando a precipitação se distribui de forma uniforme ao longo dos meses do ano (LI et al., 2011).

As regiões pluviais homogêneas foram definidas com base na análise de agrupamento utilizando os valores de PCD encontrados e o valor médio da precipitação anual. A análise de agrupamento visa encontrar uma maneira de descrever padrão de similaridade entre uma série de variáveis não previamente relacionadas, de forma a classificá-los em grupos que sejam heterogêneos entre si e homogêneos dentro deles. Foi utilizado o método hierárquico de Ward (1963), que é um método simples e amplamente utilizado, apresentando resultados satisfatórios. Este é um dos métodos mais utilizados em estudo de agrupamento, tendo sido empregado em vários trabalhos na área climatológica, como: Bao e Wallace (2015); Sahin Cigizoglu (2013); Lyra et al. (2006).

Após a definição dos grupos homogêneos, foi escolhido aleatoriamente um município em cada um dos grupos para dimensionamento das respectivas cisternas

utilizando 10 métodos distintos: Azevedo Netto, Prático Alemão, Prático Inglês, Simplificado Espanhol, Andrade Netto, Rippl, Simulação, Supply After Spillage (YAS), Prático Australiano e Eficiência de 80%. No cálculo do volume, foi considerado área de captação de 85 m<sup>2</sup>, valor adotado como média de telhado baseando-se na pesquisa de Da Silva *et al.* (2009). O número de usuários por residência foi de 5 pessoas, dado adotado com base em uma pesquisa realizada por Cohim e Orrico (2015) na qual os autores avaliaram o perfil de 947 família beneficiadas com o Programa um Milhão de Cisternas. O valor da demanda de água adotada foi de 20L/hab.dia, que é o suficiente para o atendimento das demandas de beber, cozinhar e higiene pessoal, esse foi o valor adotado também por Cohim e Orrico (2015).

### 3.2.1. Métodos de dimensionamento

#### **Método de Andrade Netto**

O método utilizado por Andrade Netto (2015) constitui-se um balanço hídrico. O dimensionamento é feito com base na comparação entre a distribuição mensal da chuva ao longo do ano, que reflete na capacidade de captação da água de chuva, e a definição dos meses consecutivos com déficit, a partir do cálculo da precipitação mensal crítica necessária para atender a demanda. O dimensionamento é feito inicialmente com base no cálculo da precipitação crítica, que é dada pela Equação 7.

$$P_{cr} = \frac{C_{mensal}}{A \times C} \quad (7)$$

Na qual:

$P_{cr}$  é a precipitação crítica (mm);

$C_{mensal}$  é o consumo mensal (L);

$A$  é a área de captação (m<sup>2</sup>);

$C$  é o coeficiente de aproveitamento, considera que existe a perda de 20% do volume de água de chuva captado, seja por evaporação, por infiltração, pela perda da água que cai fora da calha, pelo volume destinado ao tanque de desvio do primeiro milímetro, entre outros. Assim, o coeficiente de aproveitamento é 0,80, que equivale aos 80% após as perdas do sistema.

Desta forma, os meses que apresentam precipitação inferior a precipitação crítica constituem déficit, os demais serão meses de armazenamento. O volume da cisterna é obtido com base na Equação 8.

$$V_c = (N_d \times C_{mensal}) - (P_d \times A \times C) \quad (8)$$

Na qual:

$V_c$  é o volume da cisterna ( $m^3$ );

$N_d$  é o número de meses que apresentou déficit ( $P < P_{cr}$ );

$C_{mensal}$  é o consumo mensal ( $m^3$ );

$P_d$  é a precipitação total dos meses que apresentaram déficit (m);

$A$  é a área de captação ( $m^2$ );

$C$  é o coeficiente de aproveitamento.

O método possibilita o dimensionamento em meses de déficit consecutivos e não consecutivos também<sup>1</sup>. Sendo que em caso de déficit não consecutivo, o método considera a capacidade de atendimento parcial da demanda e a possibilidade que o déficit seja suprido completo ou parcialmente no mês, ou meses intermediários seguintes.

### **Método de Rippl**

Um método bastante utilizado no dimensionamento de reservatórios de acumulação de água de chuva é o método de Rippl, que se encontra presente em diversos livros e na norma de aproveitamento de água de chuva da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT NBR 15527/2007). Este consiste em um método de diagrama de massas que possibilita a regularização da vazão independente da estação do ano. Tem como ponto forte sua simplicidade e facilidade de aplicação, porém é muito criticado por acarretar em uma superestimação do volume reservado, tendo em vista que este método foi desenvolvido para grandes reservatórios (AMORIM E PEREIRA, 2008).

Este método se subdivide em método analítico e no método do gráfico. Os dados utilizados como entrada são a demanda mensal, a precipitação média mensal, a área de coleta, o coeficiente de Runnof; e os dados de saída são os

---

<sup>1</sup> Ver exemplo de dimensionamento no Apêndice C.

volumes de chuva mensal e chuva mensal acumulada, a diferença entre a demanda e o volume de chuva e o volume do reservatório. O método de Rippl realiza o dimensionamento conforme as Equações 9 a 11.

$$Q_{(t)} = P_{(t)} \times A \times C \quad (9)$$

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (10)$$

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores de } S_{(t)} > 0 \quad (11)$$

Nas quais:

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

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

$D_{(t)}$  = demanda ou consumo no tempo  $t$  ( $m^3$ );

$P_{(t)}$  = precipitação no tempo  $t$  (m);

$C$  = coeficiente de escoamento superficial;

$A$  = área de captação ( $m^2$ );

$V$  = volume do reservatório ( $m^3$ ).

Pode-se utilizar média mensal ou diária, porém média diária irá acarretar em valores mais precisos de volume de reservatório. Dado o fácil acesso a ferramentas computacionais, não há interferência no grau de dificuldade de cálculo em adotar valores diários, no entanto não é fácil conseguir dados de precipitação diários de uma série histórica confiável. Principalmente pelo fato de que para se obter uma base de dados que permita uma avaliação adequada é necessário, pelo menos, 30 anos de registros diários de precipitação (PALLA *et al.*, 2012).

Pelo método do gráfico o volume do reservatório é encontrado com base na análise da curva de chuva acumulada ao longo do ano. A abscissa constitui os meses de janeiro a dezembro e nas ordenadas os volumes acumulados ( $m^3$ ). O método consiste em tangenciar com uma reta o ponto máximo e o ponto mínimo da chuva acumulada ao longo do ano com uma reta paralela ao consumo acumulado. A distância vertical das duas retas paralelas será o volume do reservatório.

### **Método da Simulação**

O método da simulação considera duas hipóteses no seu procedimento de cálculo: o reservatório está cheio no início da contagem do tempo “ $t$ ” e os dados

históricos são representativos para as condições futuras (ABNT NBR 15527, 2007). Assim como a maioria dos modelos computacionais encontrados na literatura o método da simulação faz o balanço hídrico a partir de volumes pré-definidos de reservatórios, que podem ser escolhidos pelo usuário ou sugeridos pelo modelo (COHIM *et al*, 2008). Os cálculos são feitos com base no balanço hídrico calculado pelas Equações 12 e 13.

$$Q_{(t)} = P_{(t)} \times A \times C \quad (12)$$

$$S_{(t)} = S_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)}, \text{ sendo que } 0 \leq S_{(t)} \leq V \quad (13)$$

Nas quais:

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

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

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

$D_{(t)}$  = demanda ou consumo no tempo  $t$  ( $m^3$ );

$P_{(t)}$  = precipitação no tempo  $t$  (m);

$C$  = coeficiente de escoamento superficial;

$A$  = área de captação ( $m^2$ );

$V$  = volume do reservatório ( $m^3$ ).

### Método Prático Australiano

O método Prático Australiano se assemelha ao método da simulação, a diferença é que este considera o reservatório vazio no primeiro mês e neste método é considerada a interceptação da água que molha a superfície e as possíveis perdas por evaporação. O volume de chuva é obtido pela Equação 14:

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (14)$$

Na qual:

$C$  = coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

$A$  = área de captação ( $m^2$ );

$P$  = precipitação média mensal (m);

$I$  = interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm (m);

$Q$ = volume mensal produzido pela chuva ( $m^3$ ).

O volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume de reservatório, neste caso a confiança deve ser a máxima tendo em vista que se trata de reservatório de captação de água de chuva, em que esta é a única fonte disponível de água potável. O cálculo é feito conforme a Equação 15:

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (15)$$

Na qual:

$V_{(t)}$ = volume de água que está no tanque no fim do mês  $t$  ( $m^3$ );

$Q_{(t)}$ = volume mensal produzido pela chuva no mês  $t$  ( $m^3$ );

$V_{(t-1)}$ = volume de água que está no tanque no início do mês  $t$  ( $m^3$ );

$D_{(t)}$ = demanda mensal ( $m^3$ );

No cálculo da confiança do sistema, utiliza-se a Equação 17.

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad (16)$$

$$\text{Confiança} = (1 - P_r) \quad (17)$$

Na qual:

$P_r$ = falha;

$N_r$ = número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando  $V_t \leq 0$ ;

$N$  = número de meses considerado, geralmente 12 meses.

Recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90 e 99% (ABNT NBR 15527, 2007).

## Modelo Supply After Spillage (YAS) e Modelo Supply Before Spillage (YBS)

Este método é um modelo comportamental que simula a operação do reservatório em um período de tempo, simulando fluxos de massa com algoritmos específicos. Os dados de entrada que simulam o fluxo são baseados em intervalos de tempo que podem ser minutos, horas, dias ou meses. Sendo que quanto menor for o intervalo utilizado na modelagem, mais confiável e econômico será o dimensionamento (PHILIPPI *et al.*, 2006). Este modelo realiza o balanço de massa de acordo com as Equações 18 e 19 (LATHAM, 1983 *apud* FEWKES, 1999).

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + \theta Q_t \end{array} \right. \quad (18)$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} (V_{t-1} + Q_t - \theta Y_t) - (1 - \theta)Y_t \\ S - (1 - \theta)Y_t \end{array} \right. \quad (19)$$

Nas quais:

Y = Produção de chuva do sistema, responsável por suprir a demanda (m<sup>3</sup>),

D = Demanda (m<sup>3</sup>),

V = Volume de chuva no reservatório de armazenamento (m<sup>3</sup>),

Q = Volume total de chuva coletado pelo sistema (m<sup>3</sup>),

S = Volume do reservatório de armazenamento (m<sup>3</sup>).

O valor de  $\theta$  pode ser 0 ou 1, dependendo se é o modelo YAS ou YBS (*Supply Before Spillage*). O valor de  $\theta$  será 1 para o YBS e 0 para o YAS. A diferença entre eles é que no modelo YAS considera-se que a demanda é atendida após a adição da água precipitada ao reservatório e o extravasamento ter ocorrido do reservatório. No YBS, a demanda é atendida após a de água precipitada ter sido adicionada ao reservatório, após isso se verifica e computa o extravasamento.

Este modelo se propõe a avaliar o atendimento das demandas com base na análise do comportamento dos reservatórios através da Equação 20.

$$C = \frac{N - U}{N} \times 100 \quad (20)$$

Na qual:

C = Confiabilidade (%);

N = Número de dias da série;

U = Número de dias em que a demanda não pode ser plenamente atendida.

### **Método de Eficiência de 80%**

Este método se assemelha ao YAS, só que estipula o volume final da cisterna como sendo o volume necessário para que haja o atendimento de 80% da sua eficiência.

### **Método Azevedo Netto**

O método Azevedo Netto define o volume do reservatório pela Equação 21 (ABNT NBR 15527, 2007):

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (21)$$

Na qual:

P = precipitação média anual (mm);

T = número de meses de pouca chuva ou seca;

A = área de coleta em projeção (m<sup>2</sup>);

V = volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório (L).

Uma falha no método Azevedo Netto é não especificar critérios para definir o que seria os “meses de pouca chuva”. Outro aspecto negativo é desconsiderar a distribuição da precipitação ao longo do ano e considerar somente a precipitação média anual.

### **Prático Alemão**

É um método empírico onde o volume do reservatório é 6% do menor valor entre o volume anual consumido e o volume anual de precipitação aproveitável (ABNT NBR 15527, 2007). O volume anual consumido é a soma das demandas mensais e o volume anual de precipitação aproveitável é dado pela Equação 22.

$$V = A \times P \quad (22)$$

Na qual:

A = área de captação (m<sup>2</sup>);

P = precipitação média anual (mm);

V = volume anual de precipitação aproveitável (L).

### Prático Inglês

Segundo a ABNT NBR 15527 (2007), o volume de chuva é obtido pela equação 23:

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (23)$$

Na qual:

P = precipitação média anual (mm);

A = área de captação (m<sup>2</sup>);

V = volume de água do reservatório (L).

### Simplificado Espanhol

O método Simplificado Espanhol é um método que pondera precipitações e consumos, e considera o valor médio e um período de reserva de 30 dias (ANQIP, 2009). O volume útil é calculado pela seguinte fórmula:

$$V_U = \left( \frac{V_a + C_e}{2} \right) \times \left( \frac{30}{365} \right) \quad (24)$$

Na qual:

V<sub>a</sub> = volume aproveitável de água de chuva anual (L) (resultado do produto entre o coeficiente de runoff, precipitação média anual e área de captação);

C<sub>e</sub> = consumo anual (L);

V<sub>U</sub> = volume útil do reservatório (L).

### 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resultado da delimitação das zonas pluviais homogêneas do Estado do Rio Grande do Norte de acordo com o método de Ward e a localização de cada município escolhido para a realização dos dimensionamentos estão representados na Figura 9. Na Tabela 3 estão representados os valores médios de precipitação mensal e anual de acordo com a série histórica analisada e o valor de PCD (*precipitation concentration degree*) para cada município.

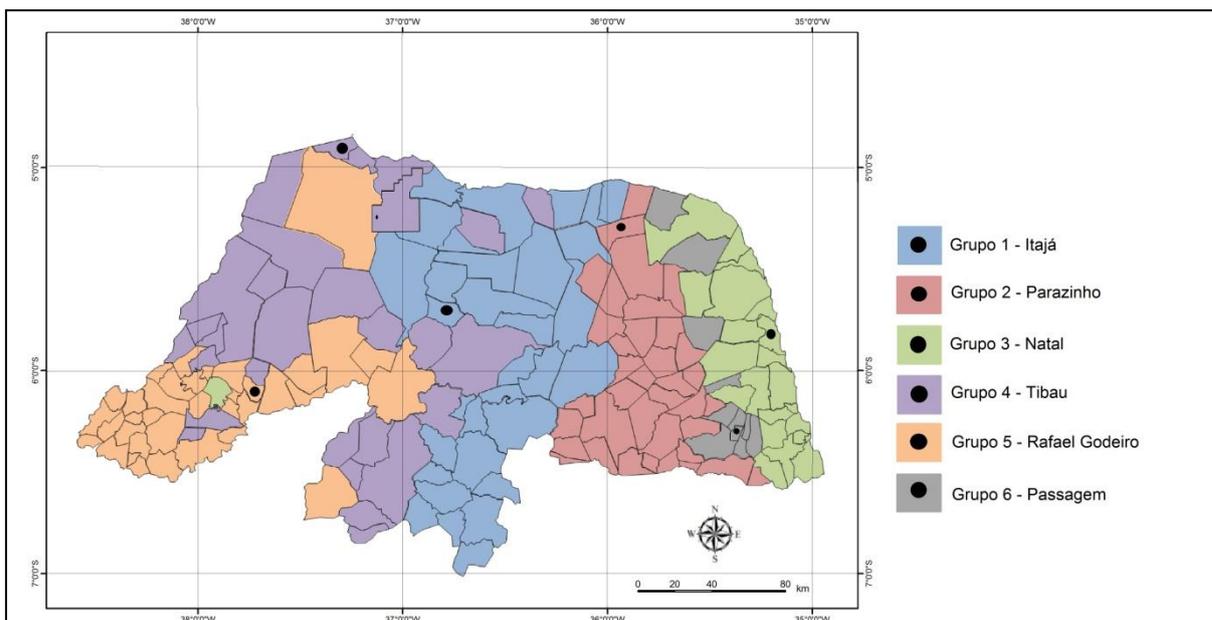


Figura 9 - Zonas pluviais homogêneas (através do método de Ward para as variáveis PCD e precipitações médias anuais) e localização dos municípios escolhidos para os dimensionamentos.

Tabela 3 - Valores médios de precipitação (mm) e PCD para cada município.

Meses	Tibau	Itajá	Rafael Godeiro	Parazinho	Natal	Passagem
PCD	0,730	0,693	0,688	0,564	0,510	0,503
Janeiro	70	59	81	50	66	55
Fevereiro	107	100	111	66	111	82
Março	180	165	214	123	206	136
Abril	206	150	200	136	246	166
Mai	98	90	102	89	229	136
Junho	37	44	49	81	297	155
Julho	19	23	28	72	249	141
Agosto	5	7	7	27	126	64
Setembro	6	3	4	14	57	32
Outubro	2	3	7	5	21	10
Novembro	3	5	6	5	23	13
Dezembro	12	18	25	10	33	21
Total (mm)	745	667	834	678	1664	1011

Com base nos valores de precipitação da Tabela 3, foram calculados os volumes de cisternas para as seis cidades utilizando cada um dos métodos analisados. Os volumes finais estão representados na Tabela 4. Para os métodos Azevedo Netto, Prático Alemão, Prático Inglês e Simplificado Espanhol foi utilizado no procedimento de cálculo o total anual médio precipitado. Para os métodos Andrade Netto, Rippl, Simulação e Prático Australiano foram utilizados os valores mensais. Já para o YAS e o de Eficiência de 80%, foram utilizados dados diários. No método YAS o volume foi definido com base na avaliação da curva eficiência versus volume, analisando o ponto onde havia alteração da inclinação da curva, ou seja, onde o aumento do volume era significativo para um crescimento baixo da eficiência.

Tabela 4 – Valores dos volumes das cisternas (m<sup>3</sup>) para todas as cidades escolhidas e valor da variância para cada método.

<b>Método de cálculo.</b>	<b>Tibau</b>	<b>Itajá</b>	<b>Rafael Godeiro</b>	<b>Parazinho</b>	<b>Natal</b>	<b>Passagem</b>	<b>Vari.</b>
PCD	0,730	0,693	0,688	0,564	0,510	0,503	- - - -
Azevedo Netto ajustado	18,6	16,7	17,9	12,1	17,8	14,4	6,3
Prático Alemão	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	0,0
Prático Inglês	3,2	1,8	3,5	2,9	7,1	4,3	3,2
Simplificado Espanhol	4,1	3,8	4,4	3,8	7,3	5,0	1,8
Andrade Neto	15,3	14,0	12,8	10,9	3,8	6,8	19,9
Rippl	15,3	14,0	12,8	10,9	3,8	6,8	19,9
Simulação	16,0	15,0	13,0	11,0	4,0	7,0	22,0
Supply After Spillage (YAS)	19,0	30,0	20,0	25,0	10,0	13,0	54,70
Prático Australiano	17,0	15,0	14,0	12,0	5,0	8,0	20,57
Eficiência de 80%	25,0	16,6	12,5	14,0	3,5	7,0	56,88

Avaliando os valores de variância da Tabela 4, é possível constatar que os métodos nos quais foram adotados valores diários de precipitação apresentaram os valores mais elevados de variância, nos que foram adotados valores anuais obtiverem os menores valores e nos que foram utilizados dados mensais foram intermediários. Os métodos que adotam nos seus procedimentos de cálculo o total precipitado anual podem ser considerados inadequados e imprecisos, tendo em vista que para situações tão distintas de precipitação, alguns métodos mantiveram volumes finais de cisternas bem parecidos, apresentando valores de variância baixos. O método Prático Alemão, por exemplo, apresentou o mesmo volume para todas as cidades. Isto ocorreu porque o método considera o volume da cisterna como sendo 6% do menor valor entre a demanda anual e o volume total de água de chuva aproveitável, desta forma em todas as situações o menor valor foi o da demanda anual que foi um parâmetro de projeto que se manteve constante para todas as cidades (36 m<sup>3</sup>/ano). Não foi encontrada qualquer justificativa técnica que esclareça a adoção desta porcentagem na definição do volume da cisterna, portanto, o método Prático Alemão não apresenta um procedimento de cálculo confiável, sendo apenas uma mera estimativa do volume.

Quanto aos métodos que adotam volumes mensais ou diários, os que apresentaram os menores volumes em quase todas as cidades foram Andrade Neto

e Rippl, comprovando que, ao contrário do que se afirma na literatura (AMORIM E PEREIRA, 2008; TOMAZ, 2012), Rippl não superdimensiona o reservatório. Vale salientar que o método de Azevedo Netto obteve volumes relativamente próximos dos métodos que adotam dados mensais de precipitação porque no cálculo do volume do reservatório foi considerado como meses de pouca chuva os que apresentaram precipitação inferior à precipitação crítica, desta forma, o método apresentou uma confiabilidade relativamente maior porque foi ajustado pelo método de Andrade Netto. Isto evidencia a necessidade de criação de algum aspecto que defina na norma ABNT NBR 15527/2007 um critério exato do que seriam os meses de pouca chuva.

Um aspecto relevante é que, apesar de apresentarem procedimentos de cálculo distintos, os métodos de Rippl e Andrade Netto apresentaram os mesmos volumes para todas as cidades. Isto ocorreu porque em todos os dados de precipitações mensais analisados não houve déficit não consecutivo, ou seja, o período chuvoso foi concentrado em uma parte do ano e o período seco no restante dos meses, não havendo situação que intercalasse os dois períodos. Caso isso ocorresse, o método de Andrade Netto geraria uma cisterna de volume menor, tendo em vista que Rippl considera tudo como déficit, já Andrade Netto avalia a possibilidade de compensação total ou parcial do déficit no mês chuvoso seguinte<sup>2</sup>.

Na Figura 10 estão representados os volumes finais (m<sup>3</sup>) dos métodos analisados, com exceção do Prático Alemão, Prático Inglês e Simplificado Espanhol. Os municípios estão organizados em ordem decrescente do valor de PCD, isto significa que na medida em que a cidade se distancia do eixo y, mais bem distribuída é sua chuva ao longo do ano. Quando se avalia a variação do volume, é perceptível que o volume da cisterna tende a diminuir na maioria dos métodos quando o PCD diminui. Isto demonstra e comprova que a distribuição da precipitação tem mais influência no volume final da cisterna do que o seu valor anual absoluto. A exceção da diminuição do volume com a diminuição do PCD é a cidade de Natal quando comparada com Passagem, note que o volume da cidade de Passagem é maior em quase todos os métodos, com exceção apenas do método de Azevedo Netto ajustado. Isto se justifica pelo fato de que as cidades apresentam uma diferença de PCD baixa de 0,007 e a diferença de precipitação bastante elevada (mais de 650 mm), portanto, neste caso, o valor da precipitação total anual tem peso maior que o PCD.

---

<sup>2</sup> Ver apêndice C.

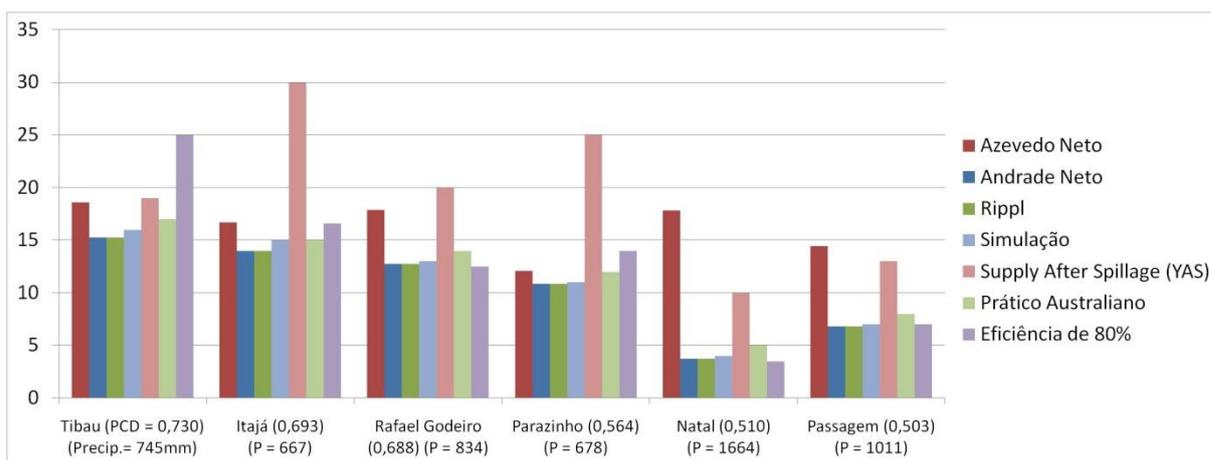


Figura 10 – Representação da variação do volume relacionado com o valor de PCD e da precipitação total anual.

Note que os métodos Andrade Neto, Rippl, Prático Australiano e o da Simulação apresentam relação direta do volume da cisterna com o PCD, tendo os volumes menores ao passo que o PCD diminui. O método de Azevedo Netto ajustado foi o que menos apresentou relação com o valor do PCD, demonstrando que, apesar de ter sido adotado um critério de definição do que seriam os meses de pouca chuva, o método ainda é impreciso quando comparado com os demais. O método YAS também não obteve relação direta com o valor do PCD, isto pode ter ocorrido pelo critério de definição do volume ter sido uma mera estimativa feita com base na variação da curva eficiência versus volume, sugerindo a necessidade de criação de critérios mais precisos para avaliação disto, como a análise matemática exata dos pontos de inflexão da reta, por exemplo. O método de eficiência de 80% obteve uma relação bem semelhante com os métodos de avaliação da precipitação mensal, com exceção dos municípios de Rafael Godeiro e Parazinho.

Outra forma de avaliar a relação do PCD com o volume das cisternas é quando comparamos a variação do volume, do PCD e da precipitação total anual para cada município. Observando a Tabela 5, é possível perceber que a variação no volume tem maior influência do valor do PCD do que da precipitação, por exemplo, o maior volume de cisterna não foi da menor precipitação e sim do maior PCD. Os valores de correlação R entre as variáveis volume da cisterna e precipitação anual foi de 0,87, já entre o volume e o PCD o valor de R é 0,93. Apesar de ser uma base de dados pequena (6 dados), os valores de correlação sugerem que ambas variáveis apresentam correlação forte, sendo que, neste caso, o PCD se correlaciona um pouco mais. Andrade *et al.* (2017) concluíram que as variáveis hidrológicas mais influentes são a precipitação média anual e o PCD, e que devem ser utilizadas

simultaneamente, apesar de que em situações confortáveis de atendimento à demanda (demanda baixa, cisterna grande e área de telhado elevada) o PCD foi mais relevante do que a precipitação.

Quando comparamos os volumes entre as cidades, é possível observar que cidades com precipitação bem próximas, como Itajá e Parazinho, apresentaram a diferença no volume final de 3,1 m<sup>3</sup>, sendo que a diferença de precipitação é insignificante (11 mm por ano).

Tabela 5 – Valores dos volumes das cisternas (m<sup>3</sup>) pelo método de Andrade Neto e Rippl comparado ao valor do PCD e da precipitação.

<b>Cidade</b>	<b>PCD</b>	<b>Precipitação (mm)</b>	<b>Volume da cisterna (m<sup>3</sup>)</b>
Tibau	0,730	745	15,3
Itajá	0,693	667	14
Rafael Godeiro	0,688	834	12,8
Parazinho	0,564	678	10,9
Natal	0,510	1664	3,8
Passagem	0,503	1011	6,8
Média	0,615	933,2	10,6
Variância	0,010	144274,2	19,9

A cidade de Natal, capital do Estado, apresentou o volume final de 3,8 m<sup>3</sup>. Assim como muitas outras capitais, a cidade está situada na região litorânea e possui a maior precipitação do Estado. Analisando a possibilidade do uso urbano da água de chuva é possível constatar que o custo disso seria baixo frente ao benefício que pode oferecer, viabilizando a sua utilização.

Quando comparamos os volumes finais das cisternas, podemos perceber que houve uma variação elevada (variância de 19,9), mostrando que apesar do Rio Grande do Norte ser um Estado relativamente pequeno, a influência do regime pluvial tem impacto significativo no volume para reservatório de água de chuva. Outro fato relevante é que todas as cisternas tiveram o volume inferior a 16 m<sup>3</sup>, volume adotado pelo P1MC, com valor médio de 10,6 m<sup>3</sup>.

Nos dimensionamentos realizados, a única variável que sofreu modificação foram os dados de precipitação, mesmo assim os volumes finais tiveram uma variação elevada, caso os demais parâmetros também sofressem variação (área de captação, demanda), o volume final das cisternas tenderia a variar ainda mais. Isto demonstra que em situações diversas como ocorre na prática, a adoção do mesmo volume para todas as cisternas é inadequado.

### 3.4. CONCLUSÕES

Os métodos Azevedo Netto, Prático Inglês, Prático Alemão da NBR 15527 e o método Simplificado Espanhol da Especificação técnica ANQIP são inadequados para dimensionamento de cisternas porque não sofrem variação do volume final na medida em que se variam as características pluviais.

Os métodos Andrade Neto, Rippl, Simulação, YAS, Prático Australiano e Eficiência de 80% são apropriados, visto que houve variação considerável no volume na medida em que se varia as características pluviais. Outro aspecto que evidenciou a aplicabilidade destes métodos foi a influência direta do valor do PCD no volume final da cisterna.

Ao contrário do que se especula na literatura consultada, Rippl não superdimensiona o reservatório.

Pela análise de como variou os valores dos volumes, das precipitações e os valores de PCD, foi possível constatar que a distribuição da precipitação (PCD) tem grande influência no volume final da cisterna. Quando comparamos o volume final de cisternas de cidades com valores de precipitação bem próximos, porém com valores de PCD diferentes, foi observado que os volumes finais foram bem diferentes, demonstrando que, nas condições de realização do estudo o PCD é a variável mais relevante no dimensionamento de cisternas.

Através da variação do volume final das cisternas é possível constatar o impacto que existe na variação do regime pluvial no dimensionamento de cisternas, comprovando que não se pode padronizar o volume de cisterna para regiões diferentes, ainda que no mesmo Estado.

### 3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527**: água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - requisitos. São Paulo. 2007.

AMORIM, S. V; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**. n. 2. v. 8. p. 53-66. 2008.

ANDRADE NETO, C. O. Aproveitamento imediato da água de chuva. **GESTA: Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**. n. 1. v. 1. p. 067-080. <<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7106>> Data de acesso: 9 set 2015. 2013.

ANDRADE NETO, C. O. Reserva de água em cisternas. (**Notas de aula**). Departamento de Engenharia Civil, UFRN. 2015.

ANDRADE, L. R.; MAIA, A. G.; LUCIO, P. S.; Relevance of hydrological variables in water-saving efficiency of domestic rainwater tanks: Multivariate statistical analysis. **Journal of Hydrology**. v. 545. p. 163 – 171, 2017.

ANDRADE, L. R. A influência do regime pluviométrico no desempenho de sistemas de aproveitamento de água de chuva. 2014. 33 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – UFRN. Natal, 2014.

ANQIP. ETA 0701 - Sistemas de Abastecimento de Águas Pluviais em Edifícios (SAAP) (in portuguese): Portuguese National Association for Quality in Building Services - ANQIP, Version7. 2009.

BAO, M.; WALLACE, J. M.; Cluster analysis of Northern Hemisphere Wintertime 500-hPa flow regimes during 1920-2014. **Journal of the atmospheric sciences**. v. 72. p. 3597-3608. 2015.

BRASIL, J; ATTAYDE, J. L.; VASCONCELOS, F. R.; DANTAS, D. F.; HUSZAR, V. L. M. Drought-induced water-level reduction favors cyanobacteria blooms in tropical shallow lakes. **Hydrobiologia**. 2015.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. Captação e Aproveitamento de Água de Chuvas: Dimensionamento de Reservatórios. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 9., Salvador. **Anais...** 2008.

COHIM, E; ORRICO, S. R. M. A confiabilidade do volume das cisternas da zona rural para reservar água de chuva. **GESTA: Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**. v. 3. n. 2. p. 91-99. 2015.

DA SILVA, F. O. E.; TEIXEIRA, L.; SOUZA FILHO, F. A.; DANTAS NETO, S. A. sustentabilidade hídrica de populações abastecidas com cisternas de

placas no semi-árido nordestino: o caso do Estado do Ceará. In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Campo Grande- MS. 22 a 26/11/2009. Anais... ABRH. 2009.

FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalized approach. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 323-333, 1999.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Síntese das características do Estado do Rio Grande do Norte. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rn>>. Acesso em: 24 out 2015.

LI, X.; JIANG, F.; LI, L.; WANG, G.. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. **Int. J. Climatol**. 31: 1679–1693, 2011.

LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. M. S. SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS, P. C.. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. **Pesq. agropec. bras**, Brasília, v.41, n.2, p.205-215, fev. 2006.

PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. G.; BARBERA, P. L. Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. **Resources, Conservation and Recycling**, v.62, p.71-80, 2012.

PHILIPPI, L. S.; VACCARI, K. P.; PETERS, M. R.; GONÇALVES, R. F. Aproveitamento da água de chuva. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES. cap. 3. p. 73-152. 2006.

SAHIN, S.; CIGIZOGLU, K. H.; The effect of the relative humidity and the specific humidity on the determination of the climate regions in Turkey. **Theor Appl Climatol**. p. 469- 481. 2013.

SCHIMIDT, D. M.; MATTOS, A.; Ciclo anual das chuvas e as condicionantes do regime de precipitação no Estado do Rio Grande do Norte. In: MATTOS, A.; MATTOS, K. M. C. (org.). **Projeto MEVEMUC – Monitoramento da Evaporação e as Mudanças Climáticas**. 1 ed. João Pessoa – PB: Moura Ramos Gráfica editora. Cap. 6, p. 129-146.2014.

THOMAS, T. Escolha de cisternas para captação de água de chuva no sertão. In: **3º Simpósio Brasileiro de Captação de água de Chuva no Semi-árido**. Campina Grande. Petrolina: ABCMAC. CD-ROM. 2001.

TOMAZ, P. Dimensionamento de reservatórios de água de chuva. In: **Aproveitamento de água de chuva**. Cap. 109. 2012. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro\\_aprov.\\_aguadechuva/Capitulo109.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Capitulo109.pdf)>. Acesso em: 18 ago 2016. 2012.

WARD, J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v.58,p.236-244. 1963.

#### **4. Capítulo 3 – DIMENSIONAMENTO DE CISTERNAS E PROPOSTA DE TIPOLOGIAS DE VOLUME PARA REGIÕES PLUVIAIS SEMELHANTES**

##### **RESUMO**

O volume de cisternas é influenciado por diversos fatores como área de captação, número de moradores, demanda e características pluviais. O dimensionamento deve ser feito considerando as particularidades de cada caso para que o sistema apresente maior eficiência. O trabalho teve como objetivo definir tipologias de volume de cisternas que possa atender às situações diversas do Estado do Rio Grande do Norte. Foram definidas as zonas pluviais homogêneas do Estado e para cada zona, através do método de Andrade Neto, foi calculado o volume para cada faixa de variação de área de captação e número de moradores. As tipologias de volume encontradas foram de 3, 5, 8, 12, 16 e 18 m<sup>3</sup>. Foi verificada a eficiência do método de Andrade Neto e das tipologias através da simulação pelo modelo YAS, a conclusão é que o método possui eficiência média de 66,2% e as tipologias apresentam eficiência média de 70,5%. Foi aplicado em campo questionários com famílias beneficiárias do P1MC para comparar o volume da cisterna de 16 m<sup>3</sup> com o volume indicado, e a conclusão é que das famílias entrevistadas apenas 7% delas necessitam da cisterna com volume de 16 m<sup>3</sup>.

**Palavras-chave:** Cisterna, tipologias de volume, dimensionamento.

**ABSTRACT**

The cisterns volume is influenced by many factors as capitation area, number of residents, demand and pluvial characteristics. The sizing should be made considering the particularities of each case for that the system present more efficiency. The work had as aim define typologies of the cistern volumes that can attend the many situations in the Rio Grande do Norte State. It was defined the homogeneous pluvial zones of the State and for each zone, beyond of the Andrade Neto method, it was calculated the volume for each variation of the capitation area and number of residents. The volumes typologies met were 3, 5, 8, 12, 16 and 18 m<sup>3</sup>. it was verified the efficiency of the Andrade Neto method and the typologies beyond of the simulation of the YAS model, the conclusion is that the method has average efficiency of 66,2% and the typologies present average efficiency of 70,5%. It was applied in field questionnaires with beneficiary families of P1MC for compare the volume of the cistern of 16 m<sup>3</sup> with the volume indicated, and the conclusion is that the interviewed families only 7% need of the cistern with volume of 16 m<sup>3</sup>.

**Keywords:** Cistern, volume typology, sizing.

## 4.1. INTRODUÇÃO

A adoção de cisternas como fonte de abastecimento de água é uma prática adotada e consolidada em muitas regiões do país. Segundo as diretrizes da OMS, os sistemas de captação de água de chuva bem projetados, com áreas de captação limpas, com cisternas e tanques de armazenamento cobertos, e tratamento apropriado, acompanhados por uma boa higiene no ponto de uso, podem oferecer água potável com baixo risco para a saúde (WHO, 2011).

Além do fator qualitativo, o aspecto quantitativo tem um grande peso na eficiência de um sistema de captação e utilização imediata da água de chuva, visto que é necessário que haja água suficiente para suprir as necessidades mínimas da família. Desta forma, o dimensionamento adequado do sistema influi diretamente na sua eficiência e no custo geral do sistema, visto que o reservatório constitui a parcela mais onerosa do sistema. Por isso, deve-se buscar otimizar a relação entre o atendimento, o volume do reservatório e os custos.

O programa um milhão de cisternas constrói cisternas com 16 m<sup>3</sup> em diversas situações e desconsidera todos os fatores intervenientes no dimensionamento adequado do sistema. Apesar dos avanços do programa, que até janeiro de 2017 construiu mais de 595 mil cisternas (ASA, 2016), existem fatores que comprometem a sua credibilidade, visto que adotar o mesmo volume em todas as situações é uma forma injusta de tratar com igualdade situações extremamente diferentes. Imagina-se que o programa adota o mesmo volume para a construção de milhares de cisternas pela dificuldade que há em dimensionar e construir cisternas diferentes em cada situação. Realizar o dimensionamento particular de cada cisterna em um programa que se propõe a construir um milhão de cisternas é realmente inviável. Porém, propõe-se aqui o dimensionamento para cada área com pluviosidade homogênea do Estado, ou seja, para cada zona que apresente características similares em termos de variáveis pluviométricas, assim o volume seria obtido considerando apenas três fatores: área de captação, número de habitantes por residência e consumo diário per capita. Desta forma, como sugere Andrade Neto (2013) seria possível construir tabelas com tipos de volumes (tipo A, B, C ou D, por exemplo) para atender às diversas situações. Partindo desta proposta, o objetivo deste trabalho é determinar tipologias de volumes adequados de cisternas para regiões pluviais homogêneas no Estado do Rio Grande do Norte.

## 4.2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado no Estado do Rio Grande do Norte, conforme descrição dos capítulos anteriores. O território foi dividido em 6 zonas pluviais homogêneas, partindo de uma série de dados de precipitação de 167 estações pluviométricas distribuídas nas quatro mesorregiões do Estado, com monitoramento de 1963 a 2010, para 156 municípios, e 1964 a 2010 para os demais. O agrupamento foi feito utilizando o método de Ward com a utilização de dados de precipitação média anual e PCD (*precipitation concentration degree*), e o resultado final dessa divisão está representado na Figura 11. Esta foi a base utilizada para o dimensionamento, tendo em vista que cada zona obtivesse uma tabela final de tipologias.

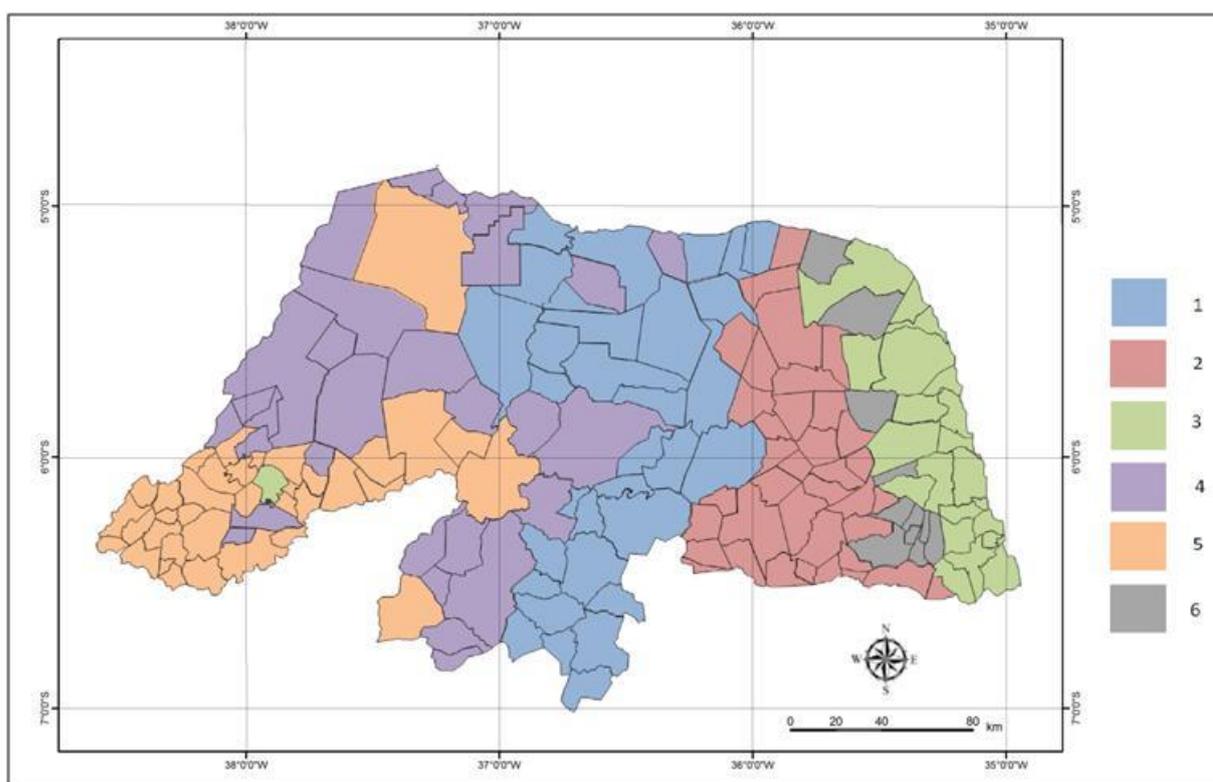


Figura 11 - Divisão das zonas pluviais homogêneas através do método de Ward para as variáveis PCD e precipitações médias anuais.

### 4.2.2. Método de dimensionamento

O método de dimensionamento utilizado foi o de Andrade Neto, isso se justifica pela precisão e simplicidade de cálculo que o método apresenta (conforme discutido

no capítulo anterior). Além disso, buscou-se por adotar um método que utilize dados mensais de precipitação, tendo em vista que, caso fosse adotado um método que utiliza dados diários, haveria dificuldade em se encontrar uma forma precisa de calcular um valor médio diário de precipitação para cada zona pluvial. Outro aspecto relevante é que a adoção do método YAS (*Supply After Spillage*) implicaria na necessidade de pré-estabelecer um valor de eficiência para as cisternas.

Ao término do dimensionamento, foi aferido o valor da eficiência do sistema com base no método YAS (*Supply After Spillage*), adotando os dados diários dos municípios mais desfavoráveis em termos de dados de precipitação e das cidades com o maior valor de PCD. Com isso, foi possível avaliar o método adotado e aferir se o valor final de eficiência é aceitável.

#### 4.2.3. Número de moradores

A definição da variação do número de moradores para a criação das tipologias foi feita com base na avaliação dos dados do censo do IBGE (2010). Na Figura 12 está apresentado a porcentagem do número de residentes por família de acordo com o levantamento do número de residentes da Zona Rural do Estado do Rio Grande do Norte, onde constatou-se que no Estado residem 188.253 famílias na Zona Rural.

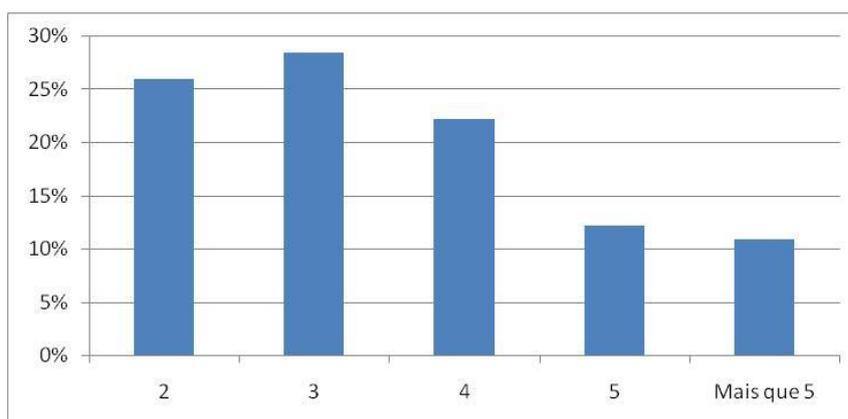


Figura 12 - Porcentagem do número de residentes por família.  
Fonte: Autoria própria com dados do IBGE (2010).

Na Zona Rural 89% das residências possuem entre 2 e 5 moradores. Desta forma, o valor fixado no intervalo de variação do número de pessoas por residência para a definição das tipologias foi de 2 a 6 moradores, que engloba o intervalo de 2 a 5 e a parcela de famílias com mais de 5.

#### 4.2.4. Demanda adotada

O P1MC adota o volume per capita de 14 L/pessoa.dia, esse volume se destina para o consumo de água para beber e cozinhar (ASA, 2003). Dacach (1979) afirma que, segundo Saturnino de Brito, para habitações com instalações prediais de água e esgoto os consumos mínimos diários *per capita* para fins domésticos são conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Consumos mínimos diários *per capita* para fins domésticos. Fonte: Dacach (1979).

<b>Uso da água</b>	<b>Consumo (litros/hab.dia)</b>
Bebida	2
Alimento e cozinha	6
Lavagem de utensílios	9
Abluções	5
Banho de chuveiro	30
Lavagem de roupa	15
Aparelhos sanitários	10
<b>Total</b>	<b>77</b>

Considerando os valores propostos por Dacach (1979) para as demandas atendidas pela cisterna do P1MC (beber e cozinhar), o volume necessário seria de 8 L/hab.dia, caso considere os usos mais nobres relativos à higiene pessoal (abluções), seria necessário mais 5 litros, totalizando 13 L/hab.dia. A Fundação de Serviços de Saúde Pública, hoje denominada Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), estima em 10 litros por pessoa a necessidade mínima diária (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1981 *apud* BRITO *et al.*, 2015).

Na definição da demanda adotada, foi considerado o volume necessário para beber, cozinhar e higiene pessoal, sendo fixado no volume de 20 L/pessoa.dia, que inclui os 13 L/hab.dia conforme proposto por Dacach (1979) com um acréscimo de 7 litros para necessidade eventuais, esse foi o valor adotado também por Cohim e Orrico (2015). Em situações extremas de ausência de chuva e/ou área de captação insuficiente, foi considerado como valor mínimo aceitável o volume de 10 L/pessoa.dia, caso a área de captação disponível e os índices pluviométricos possibilitem a oferta de um volume abaixo disso, será necessário propor o aumento da área de captação.

#### 4.2.5. Área de captação, coeficiente de aproveitamento e precipitação média

A avaliação da variação do valor da área de captação foi realizada com base na análise dos dados disponibilizados pela SEAPAC – Serviço de Apoio aos Projetos Alternativos Comunitários, ligado a Pastoral Social da Igreja Católica, no Rio Grande do Norte. Uma das principais linhas de abrangência desta instituição é a realização de trabalhos que possibilitem a convivência com o semiárido, o que inclui a implantação de cisternas em comunidades rurais (SEAPAC, 2016).

A instituição forneceu os dados de área de captação de 23.856 residências com cisternas implantadas em 118 municípios do Rio Grande do Norte, localizados nas 4 mesorregiões do Estado. A avaliação dos dados foi feita com base na análise do histograma de variação da área de captação apresentado na Figura 13. Dos valores de área de captação analisados, 85% das residências apresentam área de captação no intervalo de 40 a 100m<sup>2</sup>.

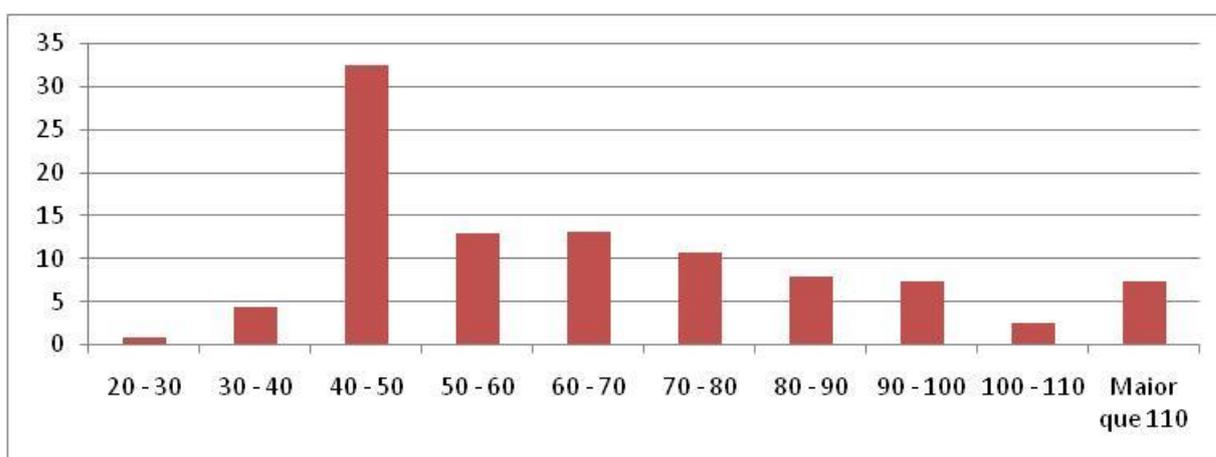


Figura 13 - Porcentagem do número de residências para cada intervalo de área de captação em m<sup>2</sup>.

Observando a Figura 13, é possível notar que a parcela mais significativa está no intervalo de 40 a 50, totalizando aproximadamente 32% das residências rurais do Estado do Rio Grande do Norte. Nos intervalos que variam de 50 a 80, os valores se mantiveram estáveis tendo uma queda significativa a partir dos 80 m<sup>2</sup>. Os valores contidos nos intervalos inferiores a 40 e superiores a 100 representam 15,4%, sendo considerado como situações extremas. Desta forma, o intervalo para a definição das tipologias de volume foi estipulado entre 40 e 100 m<sup>2</sup>, sendo considerado que áreas inferiores a isso não é possível captar água suficiente para atender a demanda em

uma região semiárida e área acima de 100 m<sup>2</sup> constitui uma situação atípica. A área exata utilizada no dimensionamento foi o valor médio de cada intervalo.

O valor relativo ao coeficiente de aproveitamento para o método de Andrade considera que existe a perda de 20% do volume de água de chuva captado, seja por evaporação, por infiltração, pela perda da água que cai fora da calha, pelo volume destinado ao tanque de desvio do primeiro milímetro, entre outros. Assim, o coeficiente de aproveitamento é 0,80, que equivale aos 80% após as perdas do sistema.

A Tabela 7 apresenta o resumo dos valores utilizados para o dimensionamento.

Tabela 7 - Resumo dos parâmetros de projeto adotados.

<b>Aspectos de projeto</b>	<b>Valores considerados</b>
Demanda	20 L/pessoa.dia*
Coeficiente de escoamento superficial	0,8
Área de captação	40 – 100m <sup>2</sup>
Número de moradores	2 - 6

Nota: \* Em situações extremas de escassez de chuva e/ou área de captação insuficiente, foi fixado o volume mínimo aceitável de 10 L/pessoa.dia.

Com as 5 variações de número de moradores, para os 6 intervalos de área de captação, foram realizados 30 dimensionamentos para cada grupo, totalizando 180 volumes de cisternas para os 6 grupos do Estado.

Com base na divisão do Estado em zonas pluviais homogêneas, a precipitação média mensal foi calculada para cada zona considerando o valor de cada mês para todos os municípios presentes em cada grupo e este foi o valor adotado no dimensionamento. Os valores médios estão representados na Tabela 8.

Tabela 8 - Valores médios de precipitação mensal em mm para cada grupo.

<b>Meses</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>	<b>Grupo 3</b>	<b>Grupo 4</b>	<b>Grupo 5</b>	<b>Grupo 6</b>
Janeiro	56,7	44,3	67,0	66,4	87,7	52,7
Fevereiro	87,8	65,3	101,2	102,6	125,3	78,5
Março	147,8	116,0	178,1	187,2	211,0	136,5
Abril	144,7	128,1	211,6	177,2	192,6	161,6
Mai	71,5	81,6	184,4	92,7	110,0	129,4
Junho	36,8	79,3	220,0	42,6	46,9	152,2
Julho	25,8	68,0	184,5	25,3	27,4	131,2
Agosto	8,0	31,3	86,0	7,1	9,1	58,3
Setembro	3,2	14,3	40,1	3,0	4,0	28,1
Outubro	3,2	4,4	16,0	3,6	6,6	9,0
Novembro	4,4	7,3	19,0	4,1	7,4	11,3
Dezembro	18,4	13,2	29,5	19,5	26,3	18,4
<b>Total</b>	<b>608,4</b>	<b>652,9</b>	<b>1337,4</b>	<b>731,4</b>	<b>854,3</b>	<b>967,3</b>

#### 4.2.6. Avaliação da satisfação dos usuários de cisternas quanto ao volume

Após a conclusão das tabelas de tipologias de volume, nas comunidades com cisternas do P1MC já implantadas pela SEAPAC nos municípios de Santa Cruz e Sítio Novo, situados no Agreste Potiguar, e em uma comunidade no município de Lagoa Nova (Central Potiguar), foram avaliadas as características de cada residência (localização, área de captação e número de residentes), para que com isso seja visualizado na tabela o volume ideal da cisterna para estas condições. Esses dados foram comparados com o volume da cisterna que foi construída (16 m<sup>3</sup>) e discutida com base na comparação dos valores para que seja classificado em: volume insuficiente, volume adequado ou volume excedente. Além disso, foi aplicado um questionário (Apêndice D) na família visando avaliar a satisfação dos usuários com a cisterna de 16 m<sup>3</sup>. Além dessas informações, o questionário extraiu informações relativas ao tipo de uso que é dado à água da cisterna pelas famílias.

O número de questionários aplicados está detalhado na Tabela 9.

Tabela 9 - Detalhamento dos questionários aplicados.

<b>Município</b>	<b>Comunidade</b>	<b>Número de questionários</b>
Sítio Novo	Assentamento São Pedro	17
	Sítio Alto da Tapuia	3
	Comunidade Carrasco	1
	Serra Bonita	4
	<b>Total</b>	<b>24</b>
Santa Cruz	Sítio Angicos	8
	Sítio Pitomba	8
	Furnas	7
	Sítio Boa Vista	9
	Sítio Umbu	3
	<b>Total</b>	<b>35</b>
Lagoa Nova	Sítio Baixa Grande	1
<b>Número total de questionários aplicados</b>		<b>60</b>

### 4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1. Dimensionamento

Com base nos parâmetros de projeto fixados anteriormente (material e métodos), foi realizado o dimensionamento para as 6 zonas pluviais homogêneas do Estado. Neste tópico será descrito o procedimento de cálculo para definição das tipologias do Grupo 2, as demais estão apresentadas no Apêndice B. Este foi o grupo escolhido para exemplificar o dimensionamento porque é um dos que mais se assemelha à região semiárida rural quanto às características pluviais. O Grupo 2 apresenta precipitação média anual de 652,9 mm e PCD médio de 0,533.

Para dois moradores, com a demanda de 20 L/pessoa.dia, área de captação entre 40 e 50 m<sup>2</sup> e coeficiente de aproveitamento de 0,8, o consumo mensal é de 1,2 m<sup>3</sup> e a precipitação crítica é encontrada pela seguinte equação:

$$P_{cr} = \frac{C_{mensal}}{A \times C} \quad (25)$$

Na qual:

$P_{cr}$  é a precipitação crítica (mm);

$C_{mensal}$  é o consumo mensal (L) = 1200 L;

A é a área de captação (m<sup>2</sup>) = 45 m<sup>2</sup>;

C é o coeficiente de aproveitamento = 0,8.

Assim, a precipitação crítica é igual a 33,3 mm. Logo, os meses em que a precipitação for inferior a esse valor constituem meses de déficit, os demais serão de armazenamento. Conforme a Tabela 8, os meses de agosto a dezembro são os meses de déficit. Logo, o volume da cisterna é obtido conforme a Equação 26.

$$V_c = (N_d \times C_{mensal}) - (P_d \times A \times C) \quad (26)$$

No qual:

$V_c$  é o volume da cisterna ( $m^3$ );

$N_d$  é o número de meses que apresentou déficit ( $P < P_{cr}$ ) = 5 meses;

$C_{mensal}$  é o consumo mensal ( $m^3$ ) = 1,2  $m^3$ ;

$P_d$  é a precipitação total dos meses que apresentaram déficit (m) = 0,0705 m;

$A$  é a área de captação ( $m^2$ ) = 45  $m^2$ ;

$C$  é o coeficiente de aproveitamento = 0,8;

Substituindo todos os valores, o volume final da cisterna é 3,46  $m^3$ . Este procedimento foi repetido para 5 variações de número de moradores e 6 valores distintos de intervalo de área de captação, totalizando 30 valores de volume de cisterna. A Tabela 10 apresenta o resumo dos volumes finais.

Tabela 10 - Volumes calculados para o grupo 2.

Número de moradores	Volume da cisterna ( $m^3$ )					
	Área de captação ( $m^2$ )					
	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80	80 - 90	90 - 100
2	3,5	3,1	2,8	2,5	2,1	1,8
3	6,7	5,9	5,3	4,9	4,5	4,2
4	7,6*	9,3*	8,4	7,8	7,2	6,7
5	7,6*	9,3*	11,0*	11,1	10,2	9,7
6	7,6*	9,3*	11,0*	12,7*	13,8	12,9

Nota \* As características pluviais e a área de captação disponíveis não possibilitaram o atendimento da demanda diária estipulada em 20 L/pessoa.dia.

Os valores assinalados na Tabela 10 constituem as situações em que o volume de água de chuva que pode ser captado anualmente é inferior ao consumo anual, desta forma, o valor da demanda será o volume máximo possível de ser captado. Os volumes variaram de 1,8 a 13,8  $m^3$ , com o valor médio de 7,3  $m^3$ . O menor consumo

*per capita* máximo foi de 10,9 L/pessoa.dia no intervalo de área de captação entre 40 – 50 m<sup>2</sup> e 6 pessoas. A Figura 14 explicita como se comporta o crescimento do volume com o aumento do número de moradores e da área de captação.

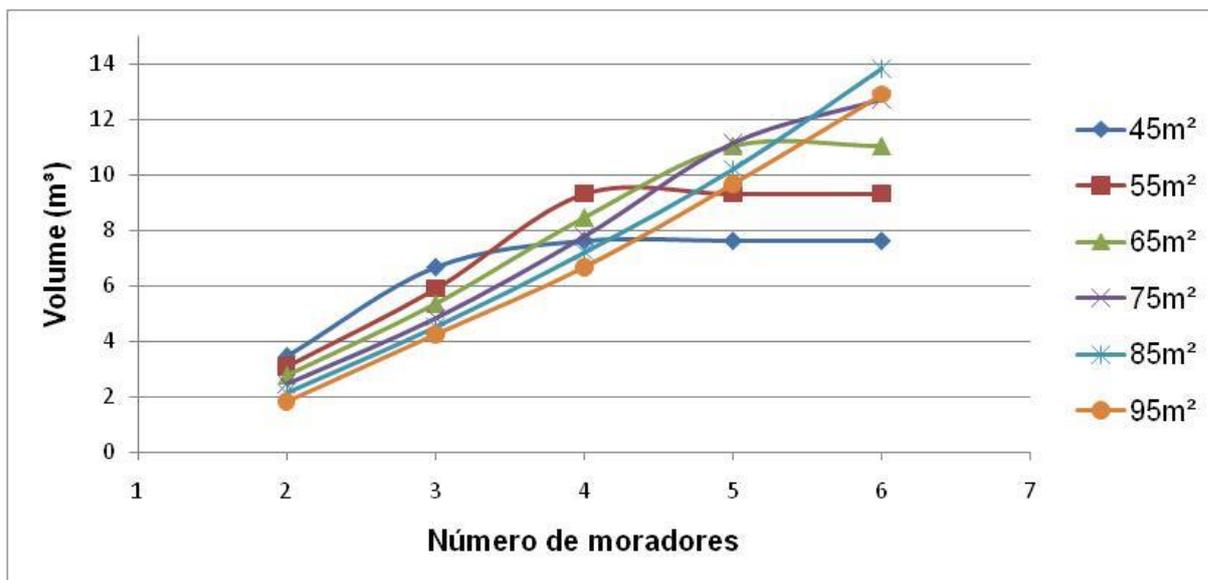


Figura 14 - Gráfico do volume em função do número de moradores para os volumes calculados do grupo 2.

Visando avaliar o método de Andrade Neto, foi calculada a eficiência de cada cisterna através do método YAS, utilizando os dados diários de precipitação do município com menor precipitação média anual e do município com o maior PCD de cada grupo, os dados diários foram da série histórica de 1963 a 2010. Os valores de eficiência estão detalhados nas Tabelas 11 e 12.

Tabela 11 - Valores de eficiência para os dados diários de precipitação do município com o maior PCD.

Número de moradores	Eficiência da cisterna (%)					
	Área de captação (m <sup>2</sup> )					
	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80	80 - 90	90 - 100
2	90,5	91,3	92	92,3	92,2	92,0
3	89,1	90	90,4	90,7	91,4	91,9
4	79,1*	88,5*	89,4	90,1	90,4	90,5
5	68,9*	78,1*	86,0*	89,1	89,5	90,2
6	61,1*	69,7*	77,3*	84,1*	88,8	89,4

Nota \* Por estarem na situação de não atendimento da demanda de 20 L/pessoa.dia, estes valores de eficiência tem mais relação com as características de projeto do que com a precisão do método.

Tabela 12 - Valores de eficiência para os dados diários de precipitação do município com a menor média de precipitação anual.

Número de moradores	Eficiência da cisterna (%)					
	Área de captação (m <sup>2</sup> )					
	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80	80 - 90	90 - 100
2	67,9	69,1	69,7	69,4	68,3	66,9
3	61,6	65,2	67,6	68,5	69,2	69,6
4	50,4*	59,5*	63,1	65,6	67,4	68,1
5	41,6*	49,4*	56,8*	61,6	63,8	65,8
6	35,5*	42,2*	48,8*	55,0*	60,3	62,6

Nota \* Por estarem na situação de não atendimento da demanda de 20 L/pessoa.dia, estes valores de eficiência tem mais relação com as características de projeto do que com a precisão do método.

O valor médio de eficiência da Tabela 11 (maior PCD) foi de 86,5%. Quando se desconsidera os valores de eficiência dos volumes que não atenderam a demanda de 20 L/pessoa.dia o valor da eficiência vai para 90,5%. Já a Tabela 12 (menor precipitação) apresentou o valor médio de eficiência total de 61,0% e, nas situações de atendimento da demanda, a eficiência foi 66,2%. Apesar do valor de PCD ter relação direta com o dimensionamento de cisternas, nessa situação, a menor média de precipitação anual foi mais relevante do que o maior valor PCD, tendo os menores valores de eficiência.

Através dos volumes calculados da Tabela 10 e das Tabelas contidas no Apêndice B, foram definidas as seis tipologias de volume de cisternas, sendo escolhidos os volumes de 3, 5, 8, 12, 16 e 18 m<sup>3</sup>, que são volumes variados que atendem a todos os grupos satisfatoriamente. Nos grupos 1 e 4 os volumes variaram de 5 a 18 m<sup>3</sup>, nos grupos 2, 3 e 6 variaram de 3 a 16 m<sup>3</sup> e no grupo 5 variou de 3 a 18 m<sup>3</sup>. O volume da tipologia para os 6 grupos está representado na Tabela 13.

Tabela 13 - Tipologias de volume para os 6 grupos do Rio Grande do Norte.

Volume da cisterna (m <sup>3</sup> )							
Grupos	Número de moradores	Área de captação (m <sup>2</sup> )					
		40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80	80 - 90	90 - 100
<b>Grupo 1</b>	<b>2</b>	5	5	5	5	5	5
	<b>3</b>	12	12	8	8	8	8
	<b>4</b>	12	12	12	12	12	12
	<b>5</b>	12	12	16	16	16	16
	<b>6</b>	12	12	16	16	18	18
<b>Grupo 2</b>	<b>2</b>	5	5	3	3	3	3
	<b>3</b>	8	8	8	5	5	5
	<b>4</b>	8	12	12	8	8	8
	<b>5</b>	8	12	12	12	12	12
	<b>6</b>	8	12	12	16	16	16
<b>Grupo 3</b>	<b>2</b>	3	3	3	3	3	3
	<b>3</b>	5	3	3	3	3	3
	<b>4</b>	8	5	5	5	3	3
	<b>5</b>	12	8	8	8	5	5
	<b>6</b>	16	12	12	12	8	8
<b>Grupo 4</b>	<b>2</b>	5	5	5	5	5	5
	<b>3</b>	12	12	8	8	8	8
	<b>4</b>	12	16	12	12	12	12
	<b>5</b>	12	16	16	16	16	16
	<b>6</b>	12	16	18	18	18	18
<b>Grupo 5</b>	<b>2</b>	5	5	5	5	3	3
	<b>3</b>	8	8	8	8	8	8
	<b>4</b>	16	12	12	12	12	12
	<b>5</b>	16	16	16	16	16	12
	<b>6</b>	16	18	18	18	18	16
<b>Grupo 6</b>	<b>2</b>	3	3	3	3	3	3
	<b>3</b>	5	5	5	5	3	3
	<b>4</b>	8	8	8	8	8	5
	<b>5</b>	12	12	12	8	8	8
	<b>6</b>	12	16	16	12	12	12

Para o grupo 2, os valores dos volumes variaram de 3 a 16 m<sup>3</sup>, tendo o valor médio de 8,8 m<sup>3</sup> e foram utilizados 5 das 6 tipologias de volume de cisterna. As eficiências para o grupo 2 foram calculadas para a situação mais desfavorável (menor precipitação média anual) e estão detalhadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Valores de eficiência das tipologias do grupo 2 para os dados diários de precipitação do município com a menor média de precipitação anual.

Número de moradores	Eficiência da cisterna (%)					
	Área de captação (m <sup>2</sup> )					
	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80	80 - 90	90 - 100
2	75,7	80,8	71,2	73,1	74,3	75,3
3	64,5	71,1	76,1	69,1	71,2	73,0
4	50,8*	62,6*	69,4	66,1	69,4	72,0
5	41,5*	51,3*	57,8*	62,8	66,7	70,0
6	35,5*	43,6*	49,4*	57,3*	62,4	66,3

Nota \* Por estarem na situação de não atendimento da demanda de 20 L/pessoa.dia, estes valores de eficiência tem mais relação com as características de projeto do que com a precisão das tipologias de volumes.

A eficiência média das tipologias foi de 64,3% e quando se desconsidera os valores de eficiência dos volumes que não atenderam a demanda de 20 L/pessoa.dia, o valor da eficiência vai para 70,5%. Quando se compara a eficiência do volume exato calculado com a eficiência do volume da tipologia, se observa um aumento de 61,0 para 64,3% e de 66,2 para 70,5%.

#### 4.3.2. Resultado da avaliação em campo

Os questionários foram respondidos em sua maioria por mulheres (73%) e a parcela mais significativa da avaliação do volume de 16 m<sup>3</sup> da cisterna foi como insuficiente, equivalendo à aproximadamente 72% (23% avaliou como suficiente e 5% afirmou ser excessivo o volume). Apenas 36,7% das cisternas são utilizadas apenas para o acúmulo de água de chuva, uma parcela utiliza para acumular água da rede de abastecimento (26,7%), outros preenchem a cisterna com água de carro-pipa (36,6%).

Dos dados levantados em campo, o valor que mais causou impacto foi que apenas 5 famílias (8,3% da amostra) estavam utilizando a água de chuva acumulada

na cisterna para os usos potáveis da residência. A maior parte das famílias (56,7%) estava utilizando água de carro pipa distribuída pelo exército. Esse fornecimento de água é feito de forma periódica em pelo menos uma cisterna de uma das casas da comunidade, essa cisterna precisa ser desconectada dos demais componentes do sistema de captação de água de chuva, ou seja, ela deixa de receber a água captada no telhado e passa a ser alimentada somente com a água do carro-pipa, essa é a exigência feita pelo exército para que a família seja beneficiada com a água. Essa água colocada na cisterna é compartilhada com outras famílias da comunidade, tendo a recomendação de consumo de 20 L/hab.dia.

O P1MC visa o atendimento à populações rurais difusas no semiárido que não dispõe de água encanada (BRAGA, 2015). Das famílias visitadas, 16 possuem água encanada e elas foram beneficiadas com a cisterna porque a companhia responsável pelo abastecimento de água emitiu um documento alegando que, apesar de haver água encanada, a distribuição naquela localidade apresenta longos períodos sem abastecimento. Todas elas estão situadas no mesmo assentamento na cidade de Sítio Novo, as 16 cisternas foram construídas no ano de 2012. Um fator que vale ser discutido é que das 60 cisternas visitadas, 15 apresentaram vazamentos (25%), sendo que 13 estão situadas nesse mesmo assentamento.

Quanto ao período de utilização das cisternas, as famílias alegaram que utilizam a água da cisterna durante o ano todo, não sendo exclusivo o uso para o período seco como o programa idealizou (acumular no período chuvoso para utilizar no período de estiagem).

Com relação à área de telhado o valor médio foi de aproximadamente, 105 m<sup>2</sup> e a média de moradores para cada residência foi de aproximadamente 4 pessoas.

O Programa P1MC objetiva o armazenamento de água para atender às demandas relativas a beber e cozinhar, desta forma, dos dados levantados, observou-se que 40% das famílias usam a água da cisterna corretamente. Os usos dados à água da cisterna estão detalhados na Figura 15. No que se refere a todos os usos, são os usos relativos à demanda de água para beber, cozinhar, lavar louça, lavar o rosto, escovar os dentes, tomar banho, lavar roupas e limpar a casa. Na parcela referente a todos os usos, há uma família (2%) que não usa para cozinhar, 6 famílias (10%) que não usam para lavar roupas e uma não utiliza para beber e cozinhar. No que diz respeito a todos os usos incluindo usos não domiciliares, 2 famílias (3%) utilizam também para dessedentação animal e uma (2%) para produção vegetal. Quanto aos usos nobres, 24 famílias (40%) usam apenas para

beber e cozinhar, uma utiliza para beber, cozinhar e lavar louça, e uma outra família usa para beber, cozinhar e escovar os dentes.

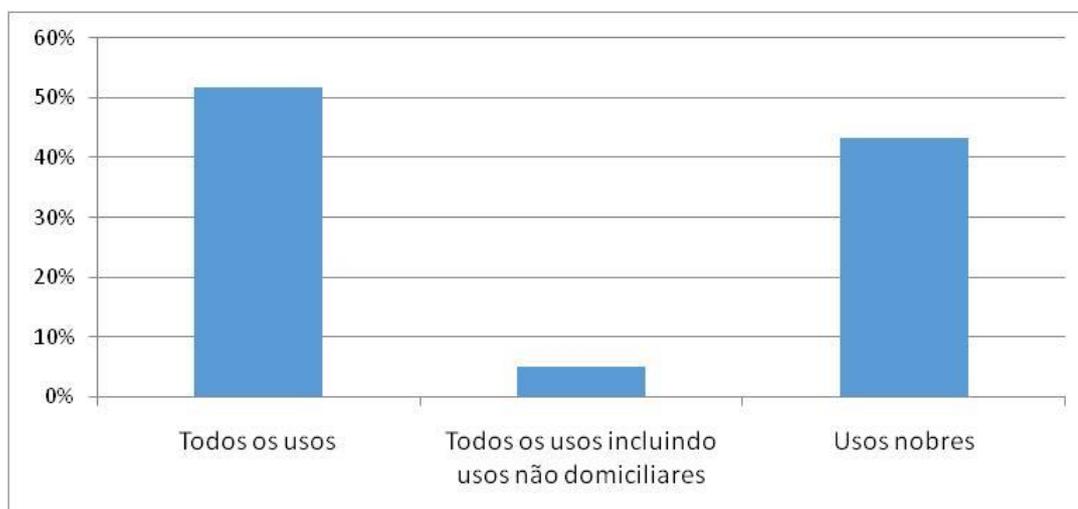


Figura 15 - Porcentagem das famílias com seus respectivos usos da água da cisterna.

Com os valores de área de telhado, número de moradores e fixada a demanda de 20 L/pessoa.dia, os volumes adequados das cisternas de acordo com as tipologias variaram conforme a Figura 16. É possível observar que o volume de 16 m<sup>3</sup> é o volume ideal apenas para aproximadamente 7% das famílias, isto comprova que o volume que é adotado em todas as situações na verdade é o volume adequado para um número pequeno de famílias.

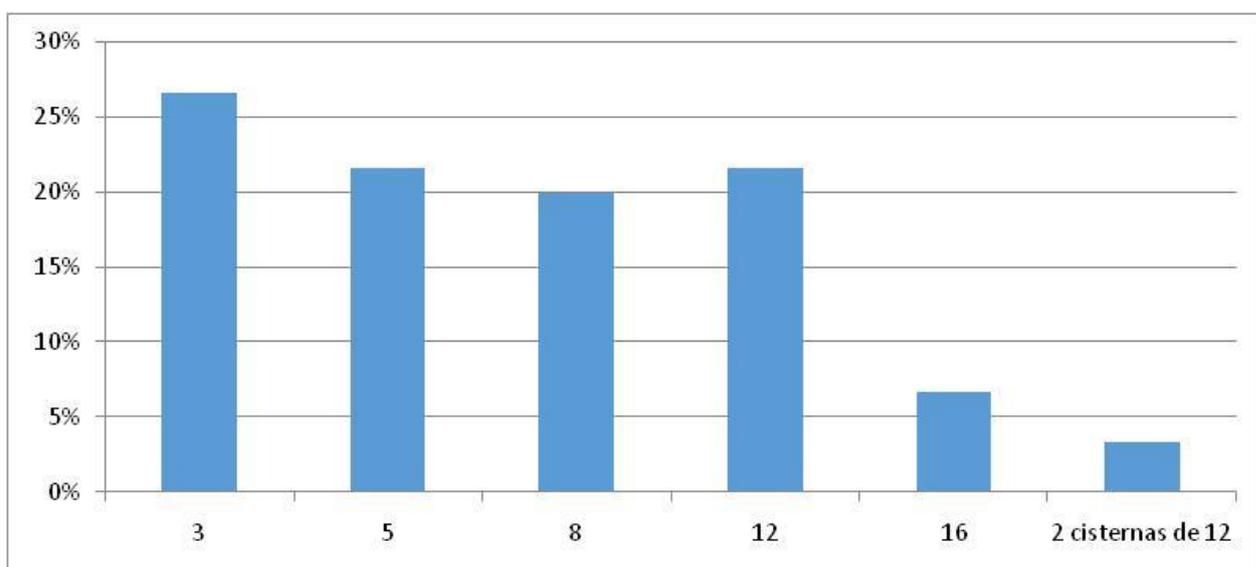


Figura 16 - Porcentagem de cisternas de acordo com a tipologia de volume (em m<sup>3</sup>) adequada.

As situações em que se optou por escolher duas cisternas de 12 m<sup>3</sup> foram situações atípicas de número de moradores e área de telhado, em uma situação tinha 12 moradores em uma residência de 152 m<sup>2</sup>, na outra foram 10 moradores em uma residência de 112 m<sup>2</sup>. Outro aspecto relevante ao dimensionamento, é que uma das cisternas de 8 m<sup>3</sup> não havia possibilidade do atendimento da demanda fixada, sendo possível o atendimento parcial para essa família com 4 moradores em uma residência de área de captação de 40 m<sup>2</sup>.

Apesar de não ser uma pergunta presente no questionário, várias famílias relataram que a cisterna nunca encheu apenas com água de chuva. Trazendo o questionamento de que, se fosse uma cisterna menor devidamente dimensionada, haveria a possibilidade maior de encher e atender a demanda, otimizando os recursos financeiros disponíveis.

Quando se avalia os aspectos pluviais, é possível observar que a região de aplicação dos questionários apresenta uma série de anos com chuvas bem abaixo da média, isso impacta diretamente no fornecimento de água de chuva para a família. A Tabela 15 apresenta a comparação dos valores médios de chuvas anuais dos anos de 2012 até 2016 com os valores médios de chuva anual da série histórica de 1963 a 2010 e os valores médios de 2012 a 2016. Os valores foram extraídos do site da EMPARN.

Tabela 15 - Precipitação média dos anos de 2012 a 2016 e precipitação média anual da série histórica de 1963 a 2010.

Cidade	Precipitação média anual (mm)						
	2012	2013	2014	2015	2016	Média (2012 – 2016)	Média (1963 – 2010)
<b>Santa Cruz</b>	157,8	361,0	304,7	295,3	341,7	<b>292,1</b>	<b>555,0</b>
<b>Sítio Novo</b>	206,0	362,0	341,0	489,0	497,5	<b>379,1</b>	<b>534,8</b>
<b>Lagoa Nova</b>	S. I.*	366,0	351,6	331,5	338,7	<b>347,0</b>	<b>582,3</b>

Nota \* O ano de 2012 para o município de Lagoa Nova não consta no site da EMPARN.

Como observado na Tabela 15, os anos de 2012 a 2016, foram anos com precipitação média anual bem abaixo da média de 1963 a 2010, com isto é possível concluir que a maior parte das cisternas não está atendendo satisfatoriamente porque o total precipitado é insuficiente. Além disso, outros fatores justificam a

avaliação de 72% como volume insuficiente, como os vazamentos e o mau uso que é dado à água da cisterna (Figura 16).

Apesar do aspecto qualitativo não ter tanta relevância para o estudo em questão, foi observado em campo que apenas uma cisterna apresenta tanque de desvio do primeiro milímetro da chuva.

#### **4.4. CONCLUSÕES**

É possível estabelecer tipologias de volumes de cisternas que possam atender as situações diversas que existem na prática. No caso do Estado do Rio Grande do Norte, propõe-se utilizar seis volumes de cisternas diferentes: 3, 5, 8, 12, 16 e 18 m<sup>3</sup>.

Quanto à precisão do método de Andrade Neto, foi possível concluir que a eficiência média calculada pelo método YAS é de 66,2% nas situações onde foi possível atender à demanda estipulada. A eficiência média das tipologias de volume nas situações de atendimento da demanda é de 70,5%.

Uma parcela bem pequena das famílias (8,3%) está conseguindo se manter utilizando a água de chuva como fonte potável.

Apenas 7% das famílias avaliadas necessitam de uma cisterna de 16 m<sup>3</sup> para atender satisfatoriamente às suas demandas, isso demonstra que o volume utilizado para todas as situações é o volume adequado para uma pequena parcela das famílias. A utilização de volumes diversos acarreta na otimização dos recursos e possibilita o aumento no número de famílias beneficiadas.

#### 4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE NETO, C. O. Aproveitamento imediato da água de chuva. **GESTA: Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**. v. 1, n. 1. p. 067-080. 2013. <<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7106>> Data de acesso: 9 set 2015.

ASA, Articulação do semiárido. Ações – Programa um milhão de cisternas. Disponível em <<http://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc>>. Acesso em: 11 jan 2017.

ASA, Articulação do Semiárido. Programa de formação e mobilização social para a convivência com o semi-árido: Um milhão de cisternas rurais P1MC. 2003. Disponível em: <<http://www.febraban.org.br/Arquivo/Servicos/RespSocial/Acordo.pdf>>. Acesso em: 20 nov 2015.

BRAGA, E. F. Direito à água no semiárido. Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional. 2015. Disponível em: <<http://www4.planalto.gov.br/consea/comunicacao/artigos/2015/direito-a-agua-no-semiarido>>. Acesso em: 05 fev 2017.

BRITO, L. T. L.; SILVA, M. S. L.; ANJOS, J. B; NETO, M. B. O.; BARBOSA, A. G. Tecnologias de captação, manejo e uso da água de chuva no setor rural. In: SANTOS, D. B.; MEDEIROS, S. S.; BRITO, L. T. *et al* (organizadores). **Captação, manejo e uso de água de chuva**. Campina Grande: ABCMAC – INSA. Cap. 11. p. 241-272. 2015.

COHIM, E. ORRICO, S. R. M. A confiabilidade do volume das cisternas da zona rural para reservar água de chuva. **GESTA: Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**. vol 3, n. 2. p.91-99.2015.

DACACH, N. G. **Saneamento Ambiental**, LTC Editora S. A. Rio de Janeiro, 1979.

IBGE. Censo demográfico 2010: Famílias – Amostra para o Estado do Rio Grande do Norte. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=rn&tema=censodemog2010\\_famil](http://www.ibge.gov.br/estadosat/temas.php?sigla=rn&tema=censodemog2010_famil)>. Acesso em: 11 jan 2017.

SEAPAC, Serviço de Apoio aos Projetos Alternativos Comunitários. **Valores e crenças**. Disponível em: <<http://seapac.org.br/valores-e-crencas>>. Acesso em: 07 mar 2016.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for Drinking-water quality. Fourth edition. 2011. Disponível em: <[http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151\\_eng.pdf](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf)>. Acesso em: 11 jan 2017.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLA, F. A.; AL-SHAREEF, A. W. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. **Desalination**, v. 243, p. 195-207, 2009.

ALADENOLA, O.; ADEBOYE, O.B. Assessing the potential for rainwater harvesting. **Water Resource Management**. v. 24, p. 2129–2137. 2010

ALLEN, J. E.; HAARHOFF, J. A proposal for the probabilistic sizing of rainwater tanks for constant demand. **Journal of The South African Institution of Civil Engineering**. v. 57. n. 2. p. 22-27. 2015.

ANDRADE NETO, C. O. Aproveitamento imediato da água de chuva. **GESTA: Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**. v. 1, n. 1. p. 067-080. 2013. <<http://www.portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/7106>> Data de acesso: 9 set 2015.

ANDRADE NETO, C. O. Aspectos sociais, tecnológicos e sanitários dos avanços e desafios do uso da água de chuva no setor rural. In: SANTOS, D. B.; MEDEIROS, S. S.; BRITO, L. T. *et al* (organizadores). **Captação, manejo e uso de água de chuva**. Campina Grande: ABCMAC – INSA. Cap. 12. p. 273-292. 2015. <<http://www.insa.gov.br/~webdir/Assessoria/livrocaptacaochuva.pdf>> Data de acesso: 3 abr 2016.

ASA, Articulação do semiárido. Ações – Programa um milhão de cisternas. Disponível em <<http://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc>>. Acesso em: 11 jan 2017.

ASA, Articulação do Semiárido. Programa de formação e mobilização social para a convivência com o semi-árido: Um milhão de cisternas rurais P1MC. 2003. Disponível em: <<http://www.febraban.org.br/Arquivo/Servicos/RespSocial/Acordo.pdf>>. Acesso em: 20 nov 2015.

BRASIL, Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do Semi-árido Brasileiro. 2005. Disponível em: <[http://www.mi.gov.br/c/document\\_library/get\\_file?uuid=0aa2b9b5-aa4d-4b55-a6e1-82faf0762763&groupId=24915](http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=0aa2b9b5-aa4d-4b55-a6e1-82faf0762763&groupId=24915)>. Acesso em: 10 jan 2017.

CAMPOS, M. A. S. **Aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Carlos**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, 131 p. 2004.

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. **Resources, Conservation and Recycling**, v.63, p. 9-16, 2012.

COHIM, E. O volume único das cisternas rurais é adequado? In. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves, 17 a 22/11/2013. Anais...ABRH.

COHIM, E. ORRICO, S. R. M. A confiabilidade do volume das cisternas da zona rural para reservar água de chuva. **GESTA: Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**. vol 3, n. 2. p.91-99.2015.

EROKSUZ, E.; RAHMAN, A. Rainwater tanks in multi-unit buildings: a case study for three Australian cities. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 54, p. 1449–1452. 2010.

GHISI, E.; SHCONDERMARK, P. N. Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. **Water Resour Manage**, v. 27, n. 7, p. 2555-2576, 2013.

KHASTAGIR, A.; JAYASURIYA, N. Optimal sizing of rainwater tanks for domestic water conservation. **Journal of Hydrology**, v.381, p.181-188, 2010.

LONDRA, P. A.; THEOCHARIS, A. T.; BALTAS, E.; TSIHRINTZIS, V. A. Optimal sizing of rainwater harvesting tanks for domestic use in Greece. **Water Resour Manage**. v. 29, p. 4357 – 4377, 2015.

OKOYE, C. O. SOLYALI, O. AKINTUG, B. Optimal sizing of storage tanks in domestic rainwater harvesting systems: A linear programming approach. **Resources, Conservation and Recycling**, 104, p.131-140. 2015.

PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. G.; BARBERA, P. L. Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. **Resources, Conservation and Recycling**, v.62, p.71-80, 2012.

PHILIPPI, L. S.; VACCARI, K. P.; PETERS, M. R.; GONÇALVES, R. F. Aproveitamento da água de chuva. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES. cap. 3. p. 73-152. 2006.

SANTOS, C.; TAVEIRA-PINTO, F. Analysis of different criteria to size rainwater storage tanks using detailed methods. **Resources, conservation and Recycling**, v. 71, p. 1 – 6. 2013.

SANTOS, M. J.; BOMFIM, E. DE O.; ARAÚJO, L. E.; SILVA, B. B. Programa um milhão de cisternas rurais: matriz conceitual e tecnológica. **UNOPAR Cient. Exatas Tecnol.**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 35-43, 2009.

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

## APÊNDICE A

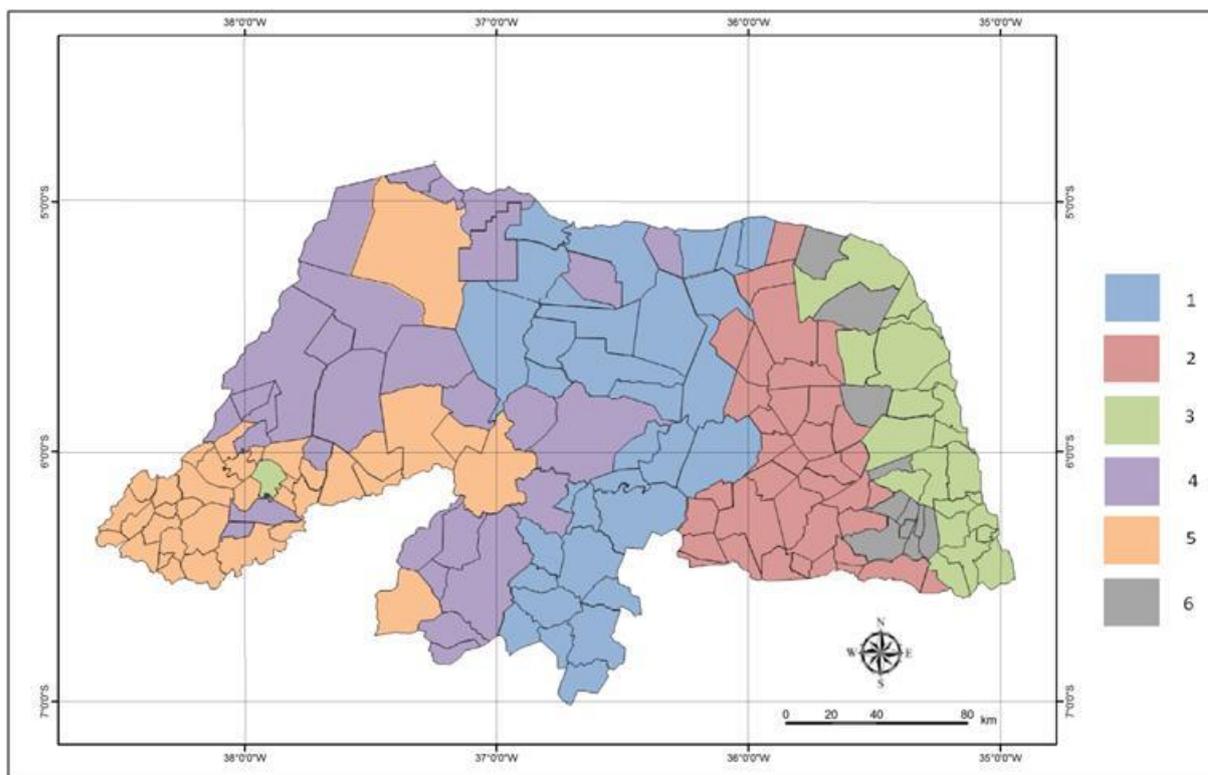


Figura A-1 - Divisão das zonas pluviais homogêneas através do método de Ward para as variáveis PCD e precipitações médias anuais.

Tabela A -1 - Tipologias de volume para o grupo 1.

<b>GRUPO 1 (PCD médio - 0,688 / Precipitação anual média - 608,8 mm)</b>						
N° de moradores	Volume da tipologia de cisterna em m <sup>3</sup>					
	Área de captação (m <sup>2</sup> )					
	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70-80	80 - 90	90 - 100
2	5	5	5	5	5	5
3	12	12	8	8	8	8
4	12	12	12	12	12	12
5	12	12	16	16	16	16
6	12	12	16	16	18	18

Tabela A -2 - Tipologias de volume para o grupo 2.

<b>GRUPO 2 (PCD médio - 0,533 / Precipitação anual média - 652,9 mm)</b>						
N° de moradores	Volume da tipologia de cisterna em m <sup>3</sup>					
	Área de captação (m <sup>2</sup> )					
	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70-80	80 - 90	90 - 100
2	5	5	3	3	3	3
3	8	8	8	5	5	5
4	8	12	12	8	8	8
5	8	12	12	12	12	12
6	8	12	12	16	16	16

Tabela A -3 - Tipologias de volume para o grupo 3.

<b>GRUPO 3</b> (PCD médio - 0,514 / Precipitação anual média - 1337,4 mm)						
N° de moradores	Volume da tipologia de cisterna em m <sup>3</sup>					
	Área de captação (m <sup>2</sup> )					
	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70-80	80 - 90	90 - 100
2	3	3	3	3	3	3
3	5	3	3	3	3	3
4	8	5	5	5	3	3
5	12	8	8	8	5	5
6	16	12	12	12	8	8

Tabela A -4 - Tipologias de volume para o grupo 4.

<b>GRUPO 4</b> (PCD médio - 0,707 / Precipitação anual média - 731,4 mm)						
N° de moradores	Volume da tipologia de cisterna em m <sup>3</sup>					
	Área de captação (m <sup>2</sup> )					
	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70-80	80 - 90	90 - 100
2	5	5	5	5	5	5
3	12	12	8	8	8	8
4	12	16	12	12	12	12
5	12	16	16	16	16	16
6	12	16	18	18	18	18

Tabela A -5 - Tipologias de volume para o grupo 5.

<b>GRUPO 5</b> (PCD médio - 0,682 / Precipitação anual média - 855,7 mm)						
N° de moradores	Volume da tipologia de cisterna em m <sup>3</sup>					
	Área de captação (m <sup>2</sup> )					
	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70-80	80 - 90	90 - 100
2	5	5	5	5	3	3
3	8	8	8	8	8	8
4	16	12	12	12	12	12
5	16	16	16	16	16	12
6	16	18	18	18	18	16

Tabela A - 6 - Tipologias de volume para o grupo 6.

<b>GRUPO 6</b> (PCD médio - 0,517 / Precipitação anual média -967,3 mm)						
N° de moradores	Volume da tipologia de cisterna em m <sup>3</sup>					
	Área de captação (m <sup>2</sup> )					
	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70-80	80 - 90	90 - 100
2	3	3	3	3	3	3
3	5	5	5	5	3	3
4	8	8	8	8	8	5
5	12	12	12	8	8	8
6	12	16	16	12	12	12

## APÊNDICE B

Tabela B -1 – Volume da cisterna calculado, volume da tipologia e eficiência da tipologia para o grupo 1.

GRUPO 1 (PCD médio - 0,688 / Precipitação anual média - 608,8 mm)																		
N° de moradores	Volume da cisterna em m <sup>3</sup> calculado / volume da tipologia / eficiência da tipologia																	
	Área de captação (m <sup>2</sup> )																	
	45			55			65			75			85			95		
2	4,93	5	71,31	4,42	5	75,31	4,06	5	77,53	3,76	5	79,37	3,51	5	80,94	3,36	5	82,04
3	9,00	12	64,48	8,20	12	74,11	7,52	8	72,08	7,01	8	75,41	6,51	8	77,76	6,16	8	79,31
4	9,18	12	49,9	11,22	12	58,19	11,60	12	65,15	10,81	12	70,5	10,10713	12	74,47	9,60	12	77,39
5	9,18	12	40,56	11,22	12	47,76	13,26	16	56,36	15,01	16	62,58	14,2061	16	67,95	13,41	16	72,27
6	9,18	12	34,2	11,22	12	40,48	13,26	16	47,77	15,30	16	53,33	17,34	18	59,46	17,61	18	64,08

Tabela B -2 – Volume da cisterna calculado, volume da tipologia e eficiência da tipologia para o grupo 2.

GRUPO 2 (PCD médio - 0,533 / Precipitação anual média - 652,9 mm)																		
N° de moradores	Volume da cisterna em m <sup>3</sup> calculado / volume da tipologia / eficiência da tipologia																	
	Área de captação (m <sup>2</sup> )																	
	45			55			65			75			85			95		
2	3,47	5	75,68	3,08	5	80,81	2,77	3	71,22	2,46	3	73,1	2,14	3	74,26	1,83	3	75,27
3	6,67	8	64,47	5,90	8	71,06	5,34	8	76,1	4,86	5	69,06	4,54	5	71,22	4,23	5	73,02
4	7,62	8	50,79	9,32	12	62,58	8,44	12	69,39	7,78	8	66,1	7,22	8	69,37	6,65	8	72,02
5	7,62	8	41,48	9,32	12	51,31	11,01	12	57,79	11,12	12	62,78	10,22	12	66,68	9,65	12	69,98
6	7,62	8	35,53	9,32	12	43,57	11,01	12	49,42	12,71	16	57,31	13,80	16	62,38	12,88	16	66,34

Tabela B -3 – Volume da cisterna calculado, volume da tipologia e eficiência da tipologia para o grupo 3.

GRUPO 3 (PCD médio - 0,514 / Precipitação anual média - 1337,4 mm)																		
N° de moradores	Volume da cisterna em m <sup>3</sup> calculado / volume da tipologia / eficiência da tipologia																	
	Área de captação (m <sup>2</sup> )																	
	45			55			65			75			85			95		
2	1,28	3	80,11	0,86	3	81,79	0,58	3	83,06	0,30	3	84,07	0,11	3	84,95	0,00	3	85,66
3	3,43	5	77,2	2,60	3	71,17	2,05	3	72,96	1,53	3	74,23	1,22	3	75,25	0,94	3	76,07
4	5,83	8	75,47	5,00	5	70,57	4,16	5	74,98	3,33	5	74,98	2,81	3	68,66	2,30	3	69,65
5	8,82	12	72,73	7,45	8	70,85	6,56	8	76,39	5,72	8	76,39	4,89	5	70,17	4,10	5	71,95
6	12,32	16	67,94	10,45	12	70,28	9,08	12	77,75	8,12	12	77,75	7,29	8	72,1	6,45	8	73,74

Tabela B -4 – Volume da cisterna calculado, volume da tipologia e eficiência da tipologia para o grupo 4.

GRUPO 4 (PCD médio - 0,707 / Precipitação anual média - 731,4 mm)																		
N° de moradores	Volume da cisterna em m³ calculado / volume da tipologia / eficiência da tipologia																	
	Área de captação (m²)																	
	45			55			65			75			85			95		
2	4,94	5	75,57	4,44	5	78,23	4,06	5	79,86	3,76	5	81,09	3,58	5	82	3,44	5	82,81
3	8,81	12	79,96	8,04	12	86,21	7,54	8	77,04	7,04	8	79,01	6,54	8	80,6	6,16	8	81,69
4	11,57	12	64,17	12,17	16	76,86	11,33	12	75,38	10,64	12	78,42	10,14	12	80,57	9,64	12	82,17
5	11,57	12	53,54	14,14	16	64,41	15,53	16	70,44	14,69	16	74,78	13,84	16	78,34	13,24	16	80,76
6	11,57	12	46,03	14,14	16	55,39	16,71	18	62,84	18,89	18	67,83	18,04	18	71,51	17,20	18	74,73

Tabela B -5 – Volume da cisterna calculado, volume da tipologia e eficiência da tipologia para o grupo 5.

GRUPO 5 (PCD médio - 0,682 / Precipitação anual média - 855,7 mm)																		
N° de moradores	Volume da cisterna em m³ calculado / volume da tipologia / eficiência da tipologia																	
	Área de captação (m²)																	
	45			55			65			75			85			95		
2	4,29	5	81,65	3,65	5	84,13	3,39	5	85,94	3,17	5	87,17	2,95	3	76,3	2,74	3	77,4
3	8,00	8	77,01	7,25	8	80,62	6,60	8	83,09	5,95	8	84,82	5,37	8	86,36	5,14	8	87,53
4	12,20	16	76,51	11,18	12	78,38	10,20	12	82	9,55	12	84,45	10,14	12	86,35	8,26	12	87,76
5	13,34	16	63,26	15,38	16	72,17	14,36	16	78,32	13,34	16	82,24	13,84	16	84,74	11,86	12	78,12
6	13,34	16	53,72	16,31	18	63,32	18,56	18	70,48	17,54	18	75,6	16,52	18	79,1	15,49	16	78,09

Tabela B - 6 – Volume da cisterna calculado, volume da tipologia e eficiência da tipologia para o grupo 6.

GRUPO 6 (PCD médio - 0,517 / Precipitação anual média - 967,3 mm)																		
N° de moradores	Volume da cisterna em m³ calculado / volume da tipologia / eficiência da tipologia																	
	Área de captação (m²)																	
	45			55			65			75			85			95		
2	2,39	3	79,3	1,89	3	76,46	1,58	3	73,21	1,27	3	69,58	1,01	3	65,76	0,85	3	61,71
3	4,79	5	84,3	4,26	5	83,33	3,72	5	82,01	3,19	5	80,29	2,76	3	66,01	2,45	3	63,15
4	8,00	8	87,62	6,74	8	87,88	6,12	8	87,59	5,59	8	86,87	5,05	8	85,95	4,52	5	74,58
5	11,08	12	90,05	10,17	12	90,76	8,78	12	91,21	7,99	8	83,49	7,45	8	82,94	6,92	8	82,23
6	11,08	12	86,18	13,55	16	91,87	12,35	16	92,45	10,93	12	87,85	9,87	12	87,85	9,32	12	87,67

## APÊNDICE C

Exemplo de dimensionamento para os métodos Andrade Neto e Rippl em meses com déficit não consecutivo.

Considere os seguintes dados de precipitação da Tabela C -1:

Tabela C – 1 – Valores de precipitação mensais e total anual.

<b>Meses</b>	<b>Precipitação (mm)</b>
Janeiro	0
Fevereiro	10
Março	80
Abril	120
Maio	100
Junho	120
Julho	50
Agosto	20
Setembro	40
Outubro	5
Novembro	15
Dezembro	0
<b>Total</b>	<b>560</b>

Conforme os parâmetros de projeto apresentados na Tabela C - 2:

Tabela C – 2 – Parâmetros de projeto considerados no exemplo.

<b>Aspectos de projeto</b>	<b>Valores considerados</b>
Demanda	18 L/pessoa.dia
Coefficiente de escoamento superficial	0,8
Área de captação	150 m <sup>2</sup>
Número de moradores	6

Com base nos dados apresentados, foi realizado o dimensionamento utilizando os dois métodos: Rippl e Andrade Neto<sup>3</sup>. O dimensionamento pelo método de Rippl foi detalhado no item 3.2.1 e para o exemplo em questão o cálculo foi feito conforme a Tabela C - 3.

<sup>3</sup> Fonte: Andrade Neto – Minicurso “Cisternas de água de chuva: sistema de captação; proteção sanitária; estimativa de demandas; volume do reservatório”. SBMCAC – Belém, PA. 2016.

Tabela C – 3 – Dimensionamento pelo método de Rippl.

Meses	Chuva média (mm)	Demanda constante (m <sup>3</sup> )	Área de captação (m <sup>2</sup> )	Volume de chuva (m <sup>3</sup> )	Excedente de chuva (m <sup>3</sup> )	Diferença acumulada (m <sup>3</sup> )
Janeiro	0	3,24	150	0,00	3,24	3,24
Fevereiro	10	3,24	150	1,20	2,04	5,28
Março	80	3,24	150	9,60	-6,36	5,28
Abril	120	3,24	150	14,40	-11,16	5,28
Mai	100	3,24	150	12,00	-8,76	5,28
Junho	120	3,24	150	14,40	-11,16	5,28
Julho	50	3,24	150	6,00	-2,76	5,28
Agosto	20	3,24	150	2,40	0,84	6,12
Setembro	40	3,24	150	4,80	-1,56	6,12
Outubro	5	3,24	150	0,60	2,64	8,76
Novembro	15	3,24	150	1,80	1,44	10,20
Dezembro	0	3,24	150	0,00	3,24	13,44
Total	560	38,88		67,20		

O volume final da cisterna foi de 13,44 m<sup>3</sup>.

Para o método de Andrade Neto (2015)<sup>4</sup>, o dimensionamento foi feito da seguinte forma:

$$P_{cr} = \frac{C_{mensal}}{A \times C}$$

No qual:

$P_{cr}$  é a precipitação crítica (mm);

$C_{mensal}$  é o consumo mensal (L) = 3240 L;

$A$  é a área de captação (m<sup>2</sup>) = 150 m<sup>2</sup>;

$C$  é o coeficiente de aproveitamento = 0,8.

<sup>4</sup> ANDRADE NETO, C. O. Reserva de água em cisternas. (Notas de aula). Departamento de Engenharia Civil, UFRN. 2015.

Assim, a precipitação crítica é igual a 27 mm. Logo, os meses em que a precipitação for inferior a esse valor constituem meses de déficit, os demais serão de armazenamento. Conforme a Tabela C – 4, os meses de janeiro, fevereiro, agosto, outubro, novembro e dezembro são os meses de déficit.

Tabela C – 4 – Precipitações mensais com o destaque para os meses de déficit.

Meses	Precipitação (mm)
Janeiro	0 (déficit)
Fevereiro	10 (déficit)
Março	80
Abril	120
Maiο	100
Junho	120
Julho	50
Agosto	20 (déficit)
Setembro	40
Outubro	5 (déficit)
Novembro	15 (déficit)
Dezembro	0 (déficit)
Total	560

O método avalia a possibilidade que o déficit de agosto seja suprido com o volume de chuva de setembro:

$$\begin{aligned} \text{Agosto} &\rightarrow 2,4 - 3,24 = - 0,84 \\ \text{Setembro} &\rightarrow 4,8 - 3,24 = \frac{+ 1,56}{0,72} \end{aligned}$$

Conforme o cálculo anterior, o déficit de chuva de agosto pode ser suprido com o volume de chuva de setembro, gerando um excedente de 0,72 m<sup>3</sup>. Assim, o volume da cisterna será:

$$V_c = (N_d \times C_{mensal}) - (P_d \times A \times C)$$

No qual:

$V_c$  é o volume da cisterna (m<sup>3</sup>);

$N_d$  é o número de meses que apresentou déficit ( $P < P_{cr}$ ) = 5 meses;

$C_{mensal}$  é o consumo mensal (m<sup>3</sup>) = 3,24 m<sup>3</sup>;

$P_d$  é a precipitação total dos meses que apresentaram déficit (m) = 0,03 m;

$A$  é a área de captação (m<sup>2</sup>) = 150 m<sup>2</sup>;

$C$  é o coeficiente de escoamento superficial = 0,8;

Substituindo todos os valores, o volume final da cisterna é 12,6 m<sup>3</sup>. Sendo assim, o método de Andrade Neto, em situações de déficit não consecutivo, apresenta o volume inferior ao método de Rippl.

**APÊNDICE D****QUESTIONÁRIO**

CIDADE: \_\_\_\_\_ COMUNIDADE: \_\_\_\_\_

Nº DA CISTERNA: \_\_\_\_\_ ANO DA CISTERNA: \_\_\_\_\_ SEXO: ( ) F  
( ) M

- 1) Número de moradores: \_\_\_\_ pessoas.
  - 1.1) Moradores com mais de 70 anos: \_\_\_\_\_
  - 1.2) Moradores com menos de 2 anos: \_\_\_\_\_
- 2) Área de telhado \_\_\_\_ m<sup>2</sup>.
- 3) Consumo diário médio da família \_\_\_\_\_ l/dia.
- 4) Como a família avalia o volume da cisterna:
  - ( ) Excessivo (Sobra água)
  - ( ) Insuficiente (Falta água)
  - ( ) Suficiente (Não falta e nem sobra – na medida)
- 5) De onde vem a água consumida pelos moradores?
  - ( ) Rede de abastecimento água
  - ( ) Poço de água
  - ( ) Água de carro pipa
  - ( ) Outro: \_\_\_\_\_
- 6) A água da cisterna é utilizada para:
 

( ) Beber	( ) Tomar banho
( ) Cozinhar	( ) Lavar roupas
( ) Lavar louça	( ) Limpar a casa
( ) Lavar o rosto	( ) Outros: _____
( ) Escovar os dentes	
- 7) Caso seja insuficiente, em qual época do ano (mês) a água da cisterna acaba: \_\_\_\_\_
- 8) Qual o período de utilização da cisterna?
  - ( ) Ano todo
  - ( ) Período seco
  - ( ) Período chuvoso
- 9) A cisterna apresenta vazamento?
  - ( ) SIM
  - ( ) NÃO

OBSERVAÇÕES:

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---