



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

**MISLAINY MAYANA MOURA ARAÚJO SILVA**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE CISTERNAS  
DIMENSIONADAS PELO MÉTODO DE ANDRADE NETO EM  
REGIÕES DE DIFERENTES REGIMES PLUVIAIS NO RIO GRANDE  
DO NORTE**

**Orientação:** Profa. Dra. Adelena Gonçalves Maia

**Natal – RN,  
Agosto de 2018**

**MISLAINY MAYANA MOURA ARAÚJO SILVA**

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE CISTERNAS  
DIMENSIONADAS PELO MÉTODO DE ANDRADE NETO EM  
REGIÕES DE DIFERENTES REGIMES PLUVIAIS NO RIO GRANDE  
DO NORTE**

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.

Orientadora: Profa. Dra. Adelena Gonçalves Maia.

**Natal – RN,  
Agosto de 2018**

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

Silva, Mislainy Mayana Moura Araújo.

Avaliação do comportamento de cisternas dimensionadas pelo método de Andrade Neto em regiões de diferentes regimes pluviais no Rio Grande do Norte / Mislainy Mayana Moura Araújo Silva. - 2018.

52 f.: il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária. Natal, RN, 2018.

Orientadora: Profa. Dra. Adelena Gonçalves Maia.

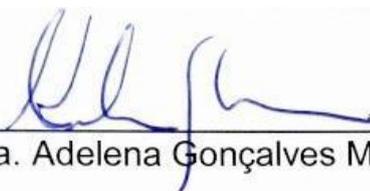
1. Água de chuva - Dissertação. 2. Dimensionamento de cisternas - Dissertação. 3. Equação empírica - Dissertação. 4. Cisternas - Semi-árido - Rio Grande do Norte - Dissertação. I. Maia, Adelena Gonçalves. II. Título.

MISLAINY MAYANA MOURA ARAÚJO SILVA

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE CISTERNAS  
DIMENSIONADAS PELO MÉTODO DE ANDRADE NETO EM  
REGIÕES DE DIFERENTES REGIMES PLUVIAIS NO RIO GRANDE  
DO NORTE**

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.

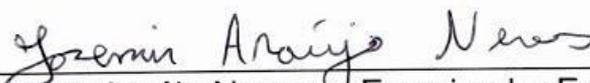
**BANCA EXAMINADORA**



Dra. Adelena Gonçalves Maia – Orientadora



Dra. Joana D'arc Freire de Medeiros – Examinador UFRN



Dr. Josemir Araújo Neves – Examinador Externo EMPARN

**Natal – RN,  
Agosto de 2018**

*Ao professor Cícero Onofre (in memoriam), que tanto me ajudou, inspirou e incentivou durante a sua jornada na Terra.*

## AGRADECIMENTOS

Nada que fazemos em nossas vidas é completamente sozinho. Podemos ser responsáveis pelo resultado, mas para chegar a este muitas "mãos invisíveis" tiveram sua contribuição. Seja no que diz respeito à parte acadêmica, seja no suporte emocional, sou muito grata a todos que contribuíram direta ou indiretamente para este trabalho.

Agradeço a Deus, por todas as pessoas que Ele colocou em meu caminho e transformaram essa jornada em uma grande experiência.

À minha família, por sempre me apoiar. Em especial, muito obrigada aos meus avós que tanto amo, meus pais, meus irmãos (Mayo, Madson e Max) e minhas tias Marli, Magna, Celhinha e Marineide, pelo incentivo aos estudos desde que eu era criança.

A Cícero Onofre (*in memoriam*), meu querido ex-orientador, por todo o incentivo, conselhos e por ser minha maior referência acadêmica, com seu grande entusiasmo em ser professor e renomado sanitarista. Sua alegria e legado serão lembrados para sempre, por todos aqueles que tiveram oportunidade de conhecê-lo.

À minha orientadora Adelena Maia, por ser um anjo que me acolheu. Meu muito obrigada por toda a paciência, ajuda e orientações. Sem o auxílio da senhora e seu alto astral, tudo teria se tornado muito mais difícil.

Aos meus colegas de curso, pela amizade cultivada, tantos dias de estudo e cafezinhos na copa. Especialmente a Thiago, Maria Helena e Leonel, por partilharmos dessa jornada juntos desde o início, nos incentivando nos momentos mais difíceis.

Às Gardêneas (Wal, Fernanda, Naná, Érika e Rita), Carlos, Érica, Maynara, Ewerton, Lília, Manu e Alinne, por serem amigos maravilhosos que estiveram presentes de alguma forma durante todos esses anos na UFRN, sempre torcendo pelo meu sucesso.

Ao meu namorado Sósteney, por toda a paciência e incentivo durante a elaboração da dissertação, principalmente durante a reta final.

Aos meus professores, por todos os ensinamentos. Em especial a Vanessa, por se preocupar tanto com todos os alunos do PPGES; André Calado, pela ajuda na parte estatística; e Joana, por ser sempre solícita e agradável com todos.

Aos membros da banca, Josemir e Joana D'arc, pelas contribuições para o melhoramento deste trabalho.

Ao CNPq, pelo incentivo à ciência e concessão da minha bolsa de mestrado.

À EMPARN, ANA, Leonardo Andrade e Amanda Sousa, pela concessão de parte dos dados que serviram para dar suporte a esse estudo.

À UFRN e a todos os funcionários do Larhisa, especialmente a Pedro e Célia, por sempre ajudarem quem precisa.

## RESUMO

No contexto de escassez hídrica, sobretudo na região semiárida, torna-se de suma importância a busca por soluções alternativas que possibilitem o aumento da disponibilidade hídrica, dentre as quais se encontra o emprego de cisternas para captação de água de chuva. Tendo em vista evitar o sub ou superdimensionamento dessas cisternas, seu dimensionamento deve ser feito de forma criteriosa para cada caso específico, adotando-se um método de cálculo eficiente e considerando-se, entre outros fatores, a área de captação, a demanda e a variabilidade temporal da precipitação. Assim, o objetivo desta pesquisa consistiu em se avaliar o comportamento de cisternas dimensionadas pelo método de Andrade Neto em regiões de diferentes regimes pluviais no Rio Grande do Norte, bem como desenvolver uma equação empírica para o dimensionamento das cisternas, derivada deste método. Para este fim, fez-se uso do índice de eficiência para a avaliação do comportamento das cisternas, considerando-se diferentes cenários de área de telhado e demanda. As simulações resultaram em cisternas de maior volume para a região central do estado e menores volumes para a região oeste, mostrando-se mais eficientes nas situações em que as áreas de telhados foram de 150 e 200 m<sup>2</sup>; e menos eficientes para o cenário de área de telhado de 50 m<sup>2</sup> e demandas superiores a 100 l.dia<sup>-1</sup>. Além disso, verificaram-se também baixas eficiências para regiões onde não há déficit crítico mensal ( $\text{Precipitação mensal} > \text{Precipitação crítica}$ ), devendo nesses casos ser adotado um volume mínimo correspondente à demanda mensal necessária. A respeito da equação empírica para o dimensionamento das cisternas, a obtenção de uma equação para cada um dos grupos correspondentes às zonas pluviais homogêneas do Estado mostrou-se mais adequada, sendo as variáveis selecionadas como mais relevantes para o dimensionamento de sistemas de captação de água de chuva a demanda, precipitação anual, precipitação crítica e grau de concentração da precipitação.

**Palavras-chave:** água de chuva, dimensionamento de cisternas, equação empírica.

## ABSTRACT

In the context of water scarcity, especially in the semi-arid region, it becomes necessary of the search for alternative solutions that allow the increase of water availability, among which is the use of cisterns for rainwater harvesting. In order to avoid the undersizing or oversizing of these cisterns, its sizing must be done in a careful manner for each specific case, adopting an efficient calculation method and considering, among other factors, the catchment area, demand and the temporal variability of the precipitation. Thus, the objective of this research was to evaluate the behavior of cisterns measured by the Andrade Neto method in regions of different rainfall regimes in Rio Grande do Norte, as well as to develop an empirical equation for the sizing of tanks derived from this method. For this purpose, the efficiency was used to evaluate the behavior of the cisterns, considering different scenarios of roof area and demand. The simulations resulted in cisterns of greater volume for the central region of the state and smaller volumes for the west region, being more efficient in situations where the roof area the roof areas were 150 and 200 m<sup>2</sup>; and less efficient for roof area of 50 m<sup>2</sup> and demands greater than 100 l.day<sup>-1</sup>. In addition, there were also low efficiencies for regions where there is no monthly critical deficit (Monthly Precipitation > Critical Precipitation), considering the potential volume of rainwater catchable and demand, indicating in these cases be adopted a minimum volume corresponding to the monthly demand required. In relation to the empirical equation for the design of cisterns, obtaining an equation for each of the groups corresponding to the homogeneous rainfall zones of the state was more adequate, being the variables selected were the most relevant for the design of rainwater harvesting systems, the demand, the mean annual rainfall, the critical precipitation and precipitation concentration degree.

**Keywords:** rainwater, cistern design, empirical equation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização dos municípios estudados. ....	16
<b>Figura 2.</b> Variação espacial e temporal da precipitação .....	17
<b>Figura 3.</b> Divisão das zonas pluviais homogêneas do Rio Grande do Norte. ....	24
<b>Figura 4.</b> Volumes de cisternas para diferentes configurações de área de telhado e de demanda. ....	26
<b>Figura 5.</b> Variação do volume das cisternas considerando-se os intervalos de tempo mensal e quinzenal. ....	29
<b>Figura 6.</b> Variação da eficiência em função da área de telhado e demandas. ....	30
<b>Figura 7.</b> Eficiência de cisternas para diferentes configurações de área de telhado e de demanda. ....	32
<b>Figura 8.</b> Resíduos versus valores ajustados referentes aos grupos: A) 1, B) 3 e C) 4. ....	37

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Ângulo correspondente a cada mês do ano.....	17
<b>Tabela 2.</b> Distribuição da precipitação mensal.....	19
<b>Tabela 3.</b> Parâmetros que sofreram variação nos cenários simulados.....	22
<b>Tabela 4.</b> Correlações entre o volume da cisterna e as variáveis envolvidas no dimensionamento. ....	28
<b>Tabela 5.</b> Estatística descritiva da eficiência em função da área de telhado. ....	31
<b>Tabela 6.</b> Equações de dimensionamento geral e por área de telhado. ....	35
<b>Tabela 7.</b> Teste de Normalidade dos resíduos para a equação geral e equações por área. ....	35
<b>Tabela 8.</b> Equações de dimensionamento para os grupos homogêneos. ....	36
<b>Tabela 9.</b> Teste de normalidade de Shapiro Wilk para os grupos homogêneos.....	37

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>A</b>	Área
<b>C</b>	Coeficiente runoff
<b>C<sub>mensal</sub></b>	Consumo mensal
<b>C<sub>quinzenal</sub></b>	Consumo quinzenal
<b>D</b>	Demanda
<b>Dat</b>	Demanda total de água atendida pela cisterna
<b>D<sub>t</sub></b>	Demanda total de água no intervalo de tempo t
<b>Dtot</b>	Demanda de água total
<b>N<sub>d</sub></b>	Número de meses em que ocorreu déficit
<b>N<sub>d15</sub></b>	Número de quinzenas em que ocorreu déficit
<b>Pa</b>	Precipitação anual
<b>Pcr</b>	Precipitação crítica
<b>Pd</b>	Precipitação total dos meses em que houve déficit
<b>Pd<sub>15</sub></b>	Precipitação total das quinzenas em que houve déficit
<b>PCD</b>	Grau de concentração da precipitação
<b>Q<sub>t</sub></b>	Volume de água escoado do telhado até o reservatório no intervalo de tempo t
<b>R</b>	Chuva
<b>S</b>	Capacidade de armazenamento que a cisterna possui
<b>u<sub>j</sub></b>	Erro
<b>Vc</b>	Volume da cisterna
<b>VIF</b>	Fatores de inflação da variância
<b>V<sub>t</sub></b>	Volume armazenado ao final do intervalo de tempo t (tempo atual)
<b>V<sub>t-1</sub></b>	Volume armazenado no final do tempo t-1
<b>X<sub>kj</sub></b>	Variável independente
<b>Y<sub>j</sub></b>	Variável dependente
<b>Y<sub>t</sub></b>	Volume liberado pela cisterna para o atendimento da demanda ao final do intervalo de tempo t
<b>α</b>	Intercepto
<b>β<sub>k</sub></b>	Coeficiente parcial da regressão

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. MATERIAL E METODOS</b> .....	15
<b>2.1. Área de estudo e dados de precipitação</b> .....	15
<b>2.2. Dimensionamento das cisternas</b> .....	18
<b>2.3. Delineamento do estudo</b> .....	20
<b>2.4. Análise do comportamento das cisternas</b> .....	22
<b>2.5. Desenvolvimento de equações empíricas</b> .....	24
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	26
<b>3.1. Dimensionamento das cisternas</b> .....	26
<i>3.1.1. Correlação entre as variáveis</i> .....	28
<i>3.1.2. Comparação mensal x quinzenal</i> .....	28
<b>3.2. Eficiência das cisternas</b> .....	29
<b>3.3. Modelos matemáticos</b> .....	34
<b>4. CONCLUSÕES</b> .....	38
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	40
<b>APÊNDICE A – VOLUMES DAS CISTERNAS DIMENSIONADAS</b> .....	45
<b>APÊNDICE B - DIVISÃO DAS CIDADES POR GRUPOS HOMOGÊNEOS</b> .....	51

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é rico em termos de disponibilidade hídrica se comparado a outros países, porém possui uma grande variabilidade na distribuição espacial dos recursos hídricos, de modo que as bacias localizadas em áreas que apresentam uma combinação de baixa disponibilidade de água de boa qualidade e grande utilização deste recurso passam por situações de escassez e estresse hídrico, tornando a água um fator limitante para a sobrevivência (ANA, 2005; PETROVICH E ARAÚJO, 2009).

Na região semiárida brasileira, a escassez hídrica relaciona-se intrinsecamente com o regime de baixa pluviosidade (com índices pluviométricos inferiores a 800 mm) e irregularidade das chuvas, além de elevada temperatura e altas taxas de evapotranspiração (ANA, 2015). Desencadeiam-se, assim, desafios associados ao acesso à água potável, tornando necessária a busca por soluções alternativas para aumentar a disponibilidade hídrica, tais como uso de cisternas para aproveitamento de água de chuva.

A utilização de cisternas para captação e armazenamento de águas pluviais é uma prática milenar, utilizada em várias regiões do mundo e cada vez mais esta tecnologia tem ganhado maior interesse e ampla aplicação (ANDRADE NETO, 2014), surgindo no contexto de escassez, sobretudo em áreas rurais da região semiárida, como uma forma de incrementar a disponibilidade hídrica por meio do aproveitamento de águas de chuva para consumo humano doméstico. Exemplo disso é o programa Um milhão de cisternas, que visa melhorar a vida das famílias que vivem no semiárido, ao proporcionar o armazenamento da água da chuva em cisternas, de forma a garantir o acesso à água de qualidade (ASA, 2017).

Até agosto de 2017, 604.841 famílias foram beneficiadas com o programa Um milhão de cisternas (ASA, 2017), cujo volume de armazenamento das cisternas utilizadas é de 16 mil litros, tendo em vista possibilitar atender famílias que tenham em média cinco pessoas, durante o período de estação seca, que possui duração média de 280 dias. Entretanto, na região semiárida, o dimensionamento assumindo esse valor padrão de volume mostra-se pouco apropriado, uma vez que existem diversos fatores que condicionam a confiabilidade no atendimento às demandas de água, destacando-se: área de captação, precipitação e número de usuários (COHIM E ORRICO, 2015). Adicionalmente, em geral a cisterna é o componente mais

dispendioso de um sistema de captação de águas pluviais, de modo que seu dimensionamento requer cuidados para não tornar sua implantação inviável (GONÇALVES, 2006).

Dentre esses fatores condicionantes, o regime pluviométrico apresenta-se como um fator chave no que tange ao entendimento do desempenho dos sistemas de captação de água de chuva, tendo em vista que geralmente quanto maior o volume precipitado e mais regular for à distribuição das precipitações na região, maior será a confiabilidade do sistema. Entretanto, a variabilidade temporal de variáveis hidrológicas, como a precipitação, muitas vezes é negligenciada no dimensionamento de cisternas, uma vez que parte significativa das metodologias empregadas para este fim trabalha com dados de precipitação média anual.

Imteaz et al. (2012) destacam que em áreas de alta variabilidade interanual de chuvas, uma análise que considere a precipitação média anual a longo prazo pode não ser útil. Um estudo realizado pelos mesmos autores (IMTEAZ et al., 2013) avaliou os resultados da confiabilidade de sistemas de captação em diferentes áreas de Melbourne, na Austrália. Em seu trabalho, os autores notaram ser necessário mudar a prática tradicional de dimensionamento que considera o valor anual de precipitação para o dimensionamento da cisterna, e que os resultados devem sofrer variação se aplicados em locais com diferentes intensidades e padrões de chuvas.

Andrade et al. (2017) estudaram a relevância das variáveis hidrológicas na eficiência das cisternas, por meio da aplicação de análise estatística multivariada aos resultados de eficiência de cisternas em 50 localidades do Rio Grande do Norte, considerando diferentes cenários de área de telhado, demanda e tamanho de cisterna. Os autores concluíram que modelos empíricos que tentam representar uma grande variedade de combinações de áreas de telhado, tamanhos de cisternas e demanda, devem considerar como variável independente não apenas as precipitações anuais, como também uma variável que represente a variabilidade temporal da precipitação.

Assim, tendo em vista garantir a eficiência dos sistemas de captação de águas pluviais, o seu dimensionamento deve ser feito para cada caso específico (GHISI, 2009) e estará diretamente associado à correta manipulação das diversas variáveis citadas anteriormente, de forma a contribuir para que o percentual de dias em que a demanda é plenamente atendida em um dado período de análise seja maior e para

se alcançar a sustentabilidade econômica de sua implantação. Nesse contexto, várias ferramentas foram desenvolvidas para estimar o tamanho da cisterna necessária e para prever o desempenho do sistema (MUKLADA et al., 2016).

Encontram-se disponíveis na literatura diferentes metodologias para a realização do dimensionamento de reservatórios para armazenamento de águas pluviais, podendo ser classificadas basicamente em três tipos: métodos baseados no uso de relações empíricas, análises estocásticas e simulações contínuas de balanço de massa (CAMPISANO et al., 2017).

Alguns métodos de dimensionamento podem apresentar complexidade na interpretação, exigindo a manipulação de equações não elementares, dificultando, conseqüentemente, a determinação e cálculo da eficiência do volume do reservatório no atendimento à demanda (ANDRADE, 2017), como é o caso dos métodos estocásticos, que são baseados no uso da probabilidade e estatística. Os métodos baseados em relações empíricas são mais simples de serem aplicados, entretanto não levam em consideração todas as variáveis relevantes para o dimensionamento, como a variabilidade temporal da precipitação.

Os modelos de balanço de massa, por sua vez, trazem resultados mais confiáveis (RAIMONDI; BECCIU, 2014), permitindo que o comportamento do sistema possa ser simulado com maior precisão, combinando a simplicidade de aplicação com a descrição apropriada da dinâmica da chuva e da demanda de água em uma variedade de escalas espaciais e temporais (CAMPISANO; MODICA, 2015; MELVILLE-SHREEVE et al., 2016). Além disso, os modelos de balanço de massa podem trabalhar com o dimensionamento baseado numa eficiência, o que se mostra de suma importância, uma vez que essa informação permitirá ao usuário poder definir o tamanho ideal da cisterna a ser instalada em sua residência. Valendo-se salientar que o uso da eficiência é muito empregado como índice para avaliar os sistemas de captação de água de chuva (COHIM; ORRICO, 2015; HAQUE et al., 2016; IMTEAZ et al., 2012; KHASTAGIR; JAYASURIYA, 2010; PALLA et al., 2012; RAHMAN et al., 2012).

No Brasil, um dos métodos de balanço de massa mais utilizados, em função da facilidade de aplicação, é o método de Rippl, que considera períodos de dias consecutivos sem precipitação e permite a determinação do volume da cisterna com

base na área de captação e na precipitação, correlacionando o volume ao consumo mensal da edificação (AMORIM; PEREIRA, 2008).

Recentemente, Andrade Neto (2015) propôs um método de balanço de massa com dados de precipitações médias mensais de simples aplicabilidade e compreensão, denominado Método de Andrade Neto, baseado na realização do balanço hídrico dos meses consecutivos com déficit e verificação da compensação de outros eventuais meses deficitários, partindo-se do cálculo da precipitação mensal crítica que seria necessária para atender à demanda (SOUSA et al., 2016). Este método é uma sintetização do método de Rippl e acrescenta uma nova variável de análise, a variável hidrológica precipitação crítica.

Sousa et al. (2017) avaliaram a aplicação dos métodos propostos pela NBR 15527 (ABNT, 2007) e alguns outros, dentre eles o de Andrade Neto (2015), para regiões pluviais homogêneas do Rio Grande do Norte. No estudo, considerou-se uma área de telhado de 85 m<sup>2</sup>, demanda de 20 l.hab.dia<sup>-1</sup> e número de usuários por residência de cinco pessoas. Os métodos que apresentaram melhor adequabilidade com base na obtenção de eficiências e volumes razoáveis para a distribuição de chuvas simuladas foram o de Rippl e o de Andrade Neto, sendo este último considerado o mais preciso.

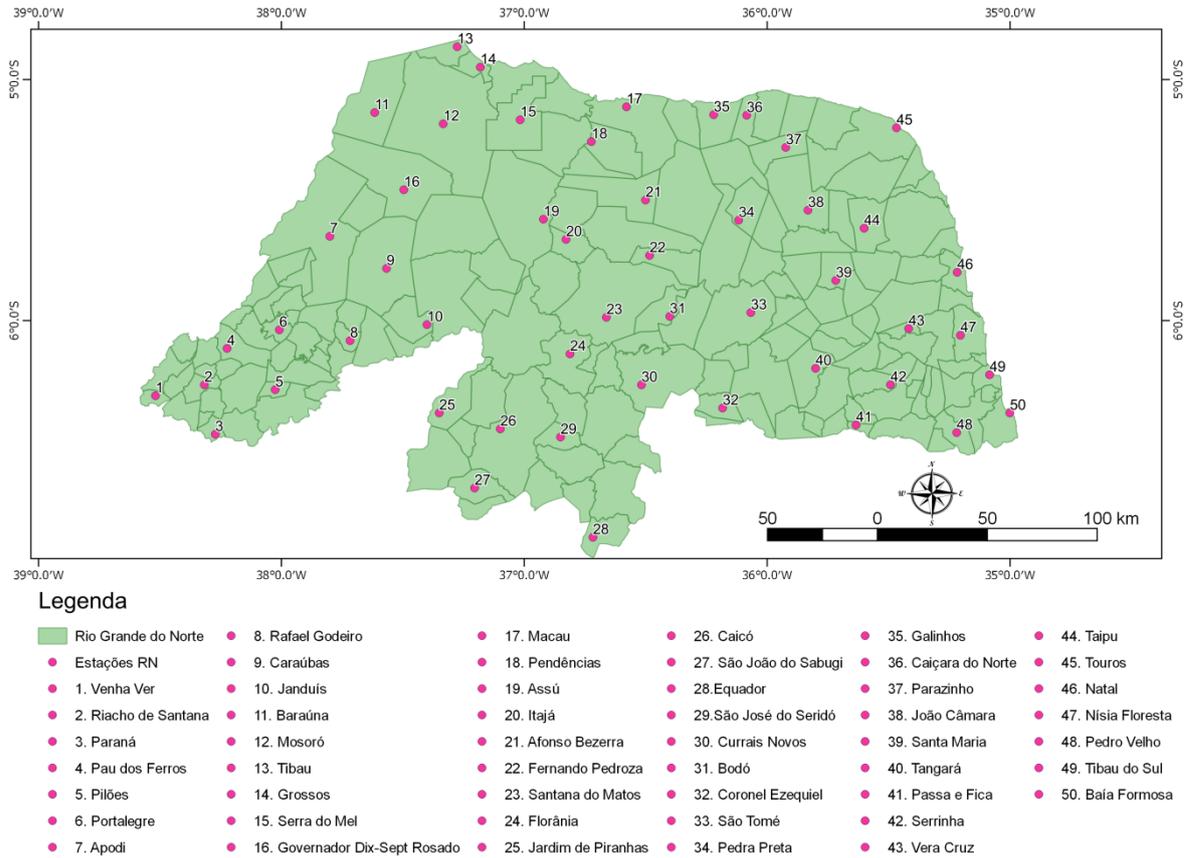
Nesse contexto, o objetivo dessa pesquisa é avaliar o comportamento de cisternas dimensionadas pelo método de Andrade Neto em regiões de diferentes regimes pluviais no Rio Grande do Norte, bem como desenvolver uma equação empírica para o dimensionamento de cisternas derivada deste método.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Área de estudo e dados de precipitação**

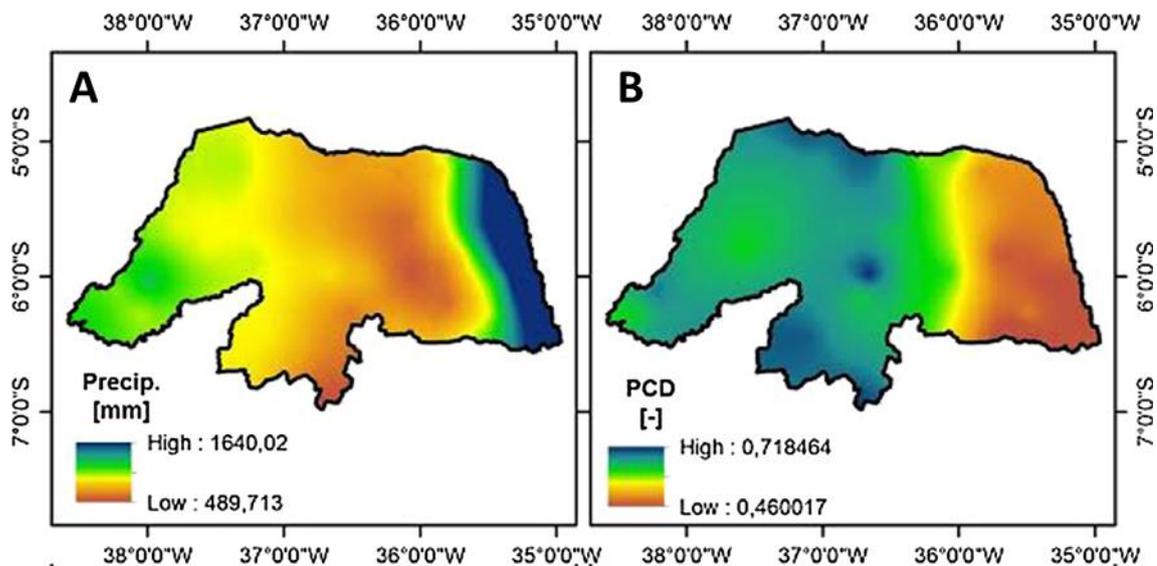
O estudo foi realizado em 50 municípios localizados no Estado do Rio Grande do Norte (figura 1), os quais apresentam precipitação média anual variando entre 410 a 1660 mm e foram selecionados em função da variedade de padrões de chuvas presentes devido aos diferentes sistemas climáticos que atuam na região, bem como da disponibilidade de dados de precipitação a longo prazo.

**Figura 1. Localização dos municípios estudados.**



A figura 2 apresenta a variação espacial e temporal da precipitação no Rio Grande do Norte ao longo do ano, destacando as médias anuais de precipitação (figura 2a) e o Precipitation Concentration Degree (PCD), que corresponde ao grau de concentração da precipitação (figura 2b), ou seja, como a precipitação se distribui ao longo do ano.

**Figura 2.** Variação espacial e temporal da precipitação. A) Distribuição espacial da precipitação anual e B) do grau de concentração da precipitação (PCD) no Rio Grande do Norte.



Fonte: Andrade et al. (2017).

O PCD já foi utilizado em outros trabalhos (ARAÚJO et al.; 2015; ARAÚJO; COHIM, 2017; LI et al., 2011; SOUSA et al., 2017) e seu cálculo considera as precipitações mensais como grandezas vetoriais, cuja direção dos vetores é função do mês de ocorrência, estando cada mês associado a um valor de  $30^\circ$  (tabela 1). O intervalo do PCD anual varia de 0 a 1, de modo que valores mais próximos a 0 indicam uma precipitação melhor distribuída ao longo do ano e valores próximos a 1 indicam que a precipitação concentra-se em um curto período (LI et al., 2011). O cálculo do PCD se dá por meio das equações 1 a 4:

$$R = \sum r_j \quad (1)$$

$$R_x = \sum r_j \cdot \sin \theta_j \quad (2)$$

$$R_y = \sum r_j \cdot \cos \theta_j \quad (3)$$

$$PCD = \frac{\sqrt{R_x^2 + R_y^2}}{R} \quad (4)$$

Em que:  $j$  representa o mês,  $r_j$  é a precipitação média do mês  $j$  e  $\theta_j$  é o ângulo do vetor mês  $j$ .

**Tabela 1.** Ângulo correspondente a cada mês do ano.

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

A área de estudo encontra-se sujeita a alta variabilidade espacial e temporal da precipitação ao longo dos meses, observando-se na região leste do Estado uma precipitação maior e melhor distribuída. Do leste para oeste, ocorre um decréscimo da precipitação e esta se torna mais concentrada; sendo o maior grau de concentração observado na região central do Estado (figuras 2a e 2b). Na região oeste do Estado, há o reestabelecimento de valores de precipitação com melhor distribuição temporal, sobretudo no sudoeste, em função de locais com maiores altitudes encontrarem-se sujeitos ao efeito orográfico (ANDRADE et al., 2017).

Neste estudo, foram utilizadas séries de dados de precipitação diária de cada um dos municípios, correspondentes a uma série histórica de 48 anos, englobando o período de 1963 a 2010. Todos os dados em questão foram disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) bem como pela Agência Nacional de Águas (ANA).

## 2.2. Dimensionamento das cisternas

As cisternas foram dimensionadas pelo método de Andrade Neto (apresentado por SOUSA et al., 2016), que sugere uma metodologia de dimensionamento simplificada baseada na realização de um balanço hídrico, cujo processo de cálculo possibilita um melhor entendimento por parte do usuário.

Conforme descrito por com Sousa et al. (2016), o dimensionamento é realizado inicialmente calculando-se a precipitação mensal crítica (equação 5) para atendimento da demanda, tendo como base uma análise de como se dá a distribuição da precipitação ao longo dos meses (possibilitando a obtenção da capacidade de captação da água de chuva) e o estabelecimento dos meses sucessivos que apresentam déficit de atendimento das demandas.

$$P_{cr} = \frac{C_{mensal}}{A.C} \quad (5)$$

Em que:

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

$C_{mensal}$  é o consumo mensal (l);

$A$  é a área de captação ( $m^2$ ) e

$C$  corresponde ao coeficiente runoff.

A partir da determinação dessa precipitação crítica é possível estimar os meses em que ocorrerá déficit no atendimento das demandas (quando a precipitação mensal é menor do que a crítica) e os meses em que há o armazenamento (quando a precipitação mensal é maior do que a crítica). De posse desses dados é possível obter-se o volume da cisterna por meio da equação 6, de modo a possibilitar o dimensionamento para meses de déficit sucessivo ou não.

$$V_c = (N_d \cdot C_{mensal}) - (P_d \cdot A \cdot C) \quad (6)$$

Em que:

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

$N_d$  é o número de meses em que ocorreu déficit (Precipitação mensal <  $P_{cr}$ );

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

$P_d$  é a precipitação total ocorrida nos meses em que houve déficit (m);

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

$C$  corresponde ao coeficiente runoff.

O estudo realizado por Sousa et al. (2016), exemplifica o método utilizando a série de dados de precipitação mensal exposta na tabela 2, considerando uma área de captação de 85  $m^2$ , demanda consumida de água de 20  $l.hab^{-1}.dia^{-1}$ , moradias com 5 habitantes e coeficiente runoff de 0,8.

**Tabela 2.** Distribuição da precipitação mensal.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>Precipitação (mm)</b>	59	100	165	150	90	43	23	7	3	3	5	18	666

Fonte: Sousa et al. (2016).

Para estes dados, o volume potencial de captação anual seria de 45,3  $m^3$  e a precipitação crítica de 44 mm. Dessa forma, os meses de janeiro a maio seriam de armazenamento por apresentarem precipitação mensal maior que a crítica, enquanto junho a dezembro seriam meses de déficit, obtendo-se assim o volume da cisterna de 14  $m^3$ .

O método de Andrade Neto é uma sistematização do método de Rippl, no entanto apresenta uma relevante contribuição com a inserção de uma nova variável de análise, a precipitação crítica. Sendo assim, a presente pesquisa trabalhou com a análise do comportamento de cisternas dimensionadas por meio desse método,

considerando sua aplicação utilizando dados mensais (equações 5 e 6) e quinzenais (adaptando as equações 5 e 6 para o intervalo de tempo de 15 dias).

A aplicação do método quinzenal, fez uso das equações 7 e 8:

$$P_{cr} = \frac{C_{quinzenal}}{A \cdot C} \quad (7)$$

Em que:

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

$C_{quinzenal}$  é o consumo quinzenal (l);

$A$  é a área de captação ( $m^2$ ) e

$C$  corresponde ao coeficiente runoff.

$$Vc = (N_{d15} \cdot C_{quinzenal}) - (P_{d15} \cdot A \cdot C) \quad (8)$$

Em que:

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

$N_{d15}$  é o número de quinzenas em que ocorreu déficit (Precipitação quinzenal  $< P_{cr}$ );

$C_{quinzenal}$  é o consumo de água quinzenal ( $m^3$ );

$P_{d15}$  é a precipitação total ocorrida nas quinzenas em que houve déficit (m);

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

$C$  corresponde ao coeficiente runoff.

### 2.3. Delineamento do estudo

De acordo com Andrade Neto (2014), um correto dimensionamento de cisternas ocorre em função da área de captação, perdas na captação, regime pluviométrico, número de pessoas por residência e consumo de água por pessoa.

A área de captação diz respeito à área do telhado da residência que contribui para a cisterna, influenciando na quantidade de água que poderá ser armazenada na cisterna, podendo ser composta por diferentes tipos de materiais e tamanhos. Em relação às dimensões, uma área pequena pode inviabilizar o sistema, de modo que a tendência é de que quanto maior for a área de telhado, maior será o potencial de captação.

Por outro lado, nem toda água que precipita sob o telhado é aproveitada, em decorrência das perdas que podem ocorrer na captação (tais como o desvio dos primeiros milímetros de chuva e evaporação). Desse modo, como forma de justificar essas perdas, é utilizado um coeficiente de escoamento superficial (coeficiente runoff), obtido a partir da razão entre a água que escoam superficialmente e o total de água precipitada, podendo variar com a inclinação do telhado e com o material da superfície de captação (GONÇALVES, 2006).

Outro dado importante a ser considerado no dimensionamento de cisternas é a demanda a ser atendida, a qual corresponde à multiplicação entre o número de pessoas por residência e o consumo de água per capita. Essa demanda irá variar em função de várias características, dentre as quais se podem citar: características físicas (como temperatura do ar), renda familiar, características da habitação e características culturais da comunidade (TSUTIYA, 2006). De acordo com a FUNASA (BRASIL, 2015), o consumo médio per capita para populações desprovidas de ligações domiciliares que são abastecidas por cisternas varia entre 14 a 28 l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, enquanto a ONU indica que para suprir as necessidades básicas diárias estipula-se um consumo per capita de 50 l.dia<sup>-1</sup> (WHO, 2003).

Com o intuito de avaliar a aplicabilidade do método objeto de estudo, foram simulados diferentes cenários, utilizando-se as séries históricas de precipitação, fixando-se o valor do coeficiente runoff em 0,8 (segundo recomendações da NBR 15527 (ABNT, 2007)) e variando a área de telhado e a demanda de água para consumo em quatro níveis cada, conforme a tabela 3, totalizando 16 cenários para cada uma das 50 cidades.

As áreas de telhado foram variadas conforme Andrade et al. (2017) e o valor inicial de demanda de água foi adotado seguindo a recomendação da organização mundial da saúde, que estipula um consumo per capita de 50 l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup> como suficiente para suprir às necessidades básicas diárias (WHO, 2003).

**Tabela 3.** Parâmetros que sofreram variação nos cenários simulados.

Parâmetro	Níveis testados			
	1	2	3	4
<b>Demanda (l.dia<sup>-1</sup>)</b>	50	100	150	200
<b>Área de telhado (m<sup>2</sup>)</b>	50	100	150	200

#### **2.4. Análise do comportamento das cisternas**

O correto dimensionamento da cisterna é importante para evitar custos extras (no caso do superdimensionamento) e contribuir para uma melhor eficiência, evitando o subdimensionamento.

A análise do comportamento das cisternas pode ser feita por meio de modelos comportamentais que possibilitam a verificação de sua eficiência. O modelo comportamental (ou de balanço de massa) Yield After Spillage (YAS) foi desenvolvido por Jenkins et al. (1978). Ele é baseado na realização de balanço de massa, sendo utilizado com frequência para dar suporte a realização da avaliação da eficiência das cisternas para avaliar o desempenho de sistemas de captação de água de chuva (ANDRADE et al., 2017; CAMPISANO; MODICA, 2012; OLAOYE et al., 2013; PALLA et al., 2012; PALLA et al., 2011; WARD et al., 2010), simulando os fluxos de massa utilizando algoritmos específicos. Nesse modelo, os dados de entrada utilizados apresentam-se em forma de séries temporais e baseiam-se no intervalo de tempo de minutos, horas, dias ou meses para simular os fluxos de massa (FEWKES; BUTLER, 2000).

O modelo YAS considera que o atendimento da demanda se dá após haver a adição da água precipitada ao reservatório e ocorrer o extravasamento desta, sendo seu uso recomendado devido à estimativa conservadora do desempenho do sistema (ADEYEYE; 2014; FEWKES, 2000; GHISI, 2017; MITCHELL, 2007), independentemente da escala de tempo do modelo (FEWKES, 2000).

Nesse modelo, o balanço de massa do reservatório é realizado por meio das equações 9 e 10:

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} \end{array} \right. \quad (9)$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S - Y_t \end{array} \right. \quad (10)$$

Em que:

$Y_t$  é o volume liberado pela cisterna para o atendimento da demanda ao final do intervalo de tempo  $t$ ;

$V_{t-1}$  é o volume armazenado no final do tempo  $t-1$ ;

$V_t$  é o volume armazenado ao final do intervalo de tempo  $t$  (tempo atual);

$Q_t$  é o volume de água escoado do telhado até o reservatório no intervalo de tempo  $t$ ;

$D_t$  é a demanda total de água no intervalo de tempo  $t$ ; e

$S$  é a capacidade de armazenamento que a cisterna possui.

No presente estudo, a partir do dimensionamento obtido por meio do método de Andrade Neto, para cada um dos diferentes cenários de combinação de demandas e áreas de telhado propostos (tabela 3) foi executada a análise do comportamento da cisterna frente ao atendimento da demanda. Para este fim, foi realizado o cálculo da eficiência a partir do uso do modelo de simulação computacional YAS (equações 9 e 10), utilizando os dados de precipitação da série histórica de 48 anos para cada uma das cidades. Ademais, fez-se uso da estatística descritiva, auxiliada por gráficos e tabelas, tendo em vista facilitar a interpretação dos resultados.

O cálculo da eficiência foi realizado por meio da equação 11, conforme Haque et al. (2016):

$$Eficiência = \frac{Dat}{Dt_{tot}} \cdot 100 \quad (11)$$

Em que:

$Dat$  é a demanda total de água atendida pela cisterna; e

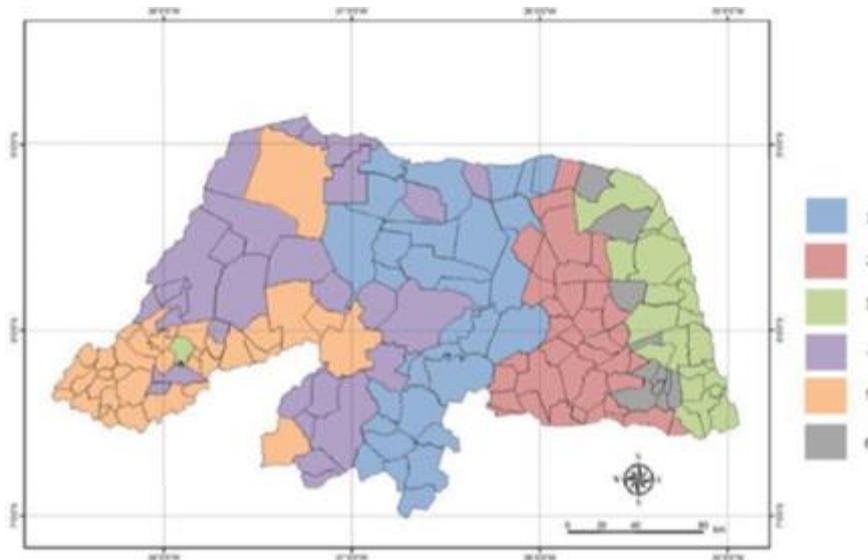
$Dtot$  é a demanda de água total.

## 2.5. Desenvolvimento de equações empíricas

De posse dos dados gerados pelas simulações, foram desenvolvidas equações empíricas derivadas do método de Andrade Neto para determinação do volume de cisternas. As equações geradas foram de três tipos:

- **Geral:** englobando todos os municípios estudados e todos os dezesseis cenários possíveis;
- **Por área de telhado:** todos os municípios foram analisados, considerando as diferentes demandas, mas separados por área de telhado (50, 100, 150 e 200 m<sup>2</sup>);
- **Por grupos homogêneos:** todos os dezesseis cenários foram analisados considerando as diferentes regiões de precipitação homogênea (figura 3), conforme divisão realizada por Sousa et al. (2017).

**Figura 3.** Divisão das zonas pluviais homogêneas do Rio Grande do Norte.



Fonte: Sousa et al. (2017).

Para este fim, fez-se uso do método de Stepwise, que consiste em uma regressão linear múltipla. Neste tipo de análise estatística, o valor da variável dependente é função linear de duas ou mais variáveis independentes (HOFFMAN, 2016) e a equação que representa uma regressão linear múltipla com k variáveis independentes (equação 12) é dada por:

$$Y_j = \alpha + \beta_1 X_{1j} + \beta_2 X_{2j} + \dots + \beta_k X_{kj} + u_j \quad (12)$$

Em que:

$j = 1, \dots, n$ ;

$Y_j$  corresponde a variável dependente;

$\alpha$  é o intercepto;

$\beta_1, \beta_2$  e  $\beta_k$  são os coeficientes parciais da regressão;

$X_{1j}, X_{2j}$  e  $X_{kj}$  são as variáveis independentes; e

$u_j$  corresponde ao erro.

No método de Stepwise, considera-se cada variável para inclusão antes do desenvolvimento da equação. A variável independente de maior relevância é então acrescentada em um primeiro momento e as demais vão sendo incorporadas na equação com base em sua contribuição incremental em relação as que já se encontram presentes na equação (HAIR et al., 2009). Assim, ocorre a seleção das variáveis que mais influenciam na função, descartando as que não são úteis e gerando um conjunto reduzido de variáveis que irão compor a equação final de regressão.

Neste estudo, o volume (V) foi a variável dependente considerada, enquanto a demanda (D), área de telhado (A), bem como as variáveis hidrológicas Precipitação anual (Pa), Precipitação crítica (Pcr) e grau de concentração da precipitação (PCD) foram as variáveis independentes testadas no modelo.

Para a avaliação da qualidade do ajuste das equações de regressão foi considerado o atendimento aos pressupostos da regressão linear múltipla: linearidade, normalidade dos resíduos, independência e variância constante dos erros (homocedasticidade) (LEVINE et al., 2005), além da ausência de multicolinearidade entre as variáveis.

A linearidade foi verificada por meio do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ). Para a verificação da normalidade, foi utilizado o teste de Shapiro Wilk (1965) a 5% de significância, realizando-se a transformação dos dados de Box e Cox (1964) dada à ocorrência da violação desse pressuposto. Esse procedimento permitiu que fosse identificada a melhor transformação, baseando-se em um valor  $\lambda$  (*lambda*) obtido por máxima verossimilhança, transformando dados  $y_i$  em  $y_i^\lambda$ , com o intuito de aproximá-los de uma distribuição normal.

A independência dos erros e homocedasticidade foram verificadas por meio de gráficos de Resíduos versus Valores Ajustados da Variável Resposta. A ausência da

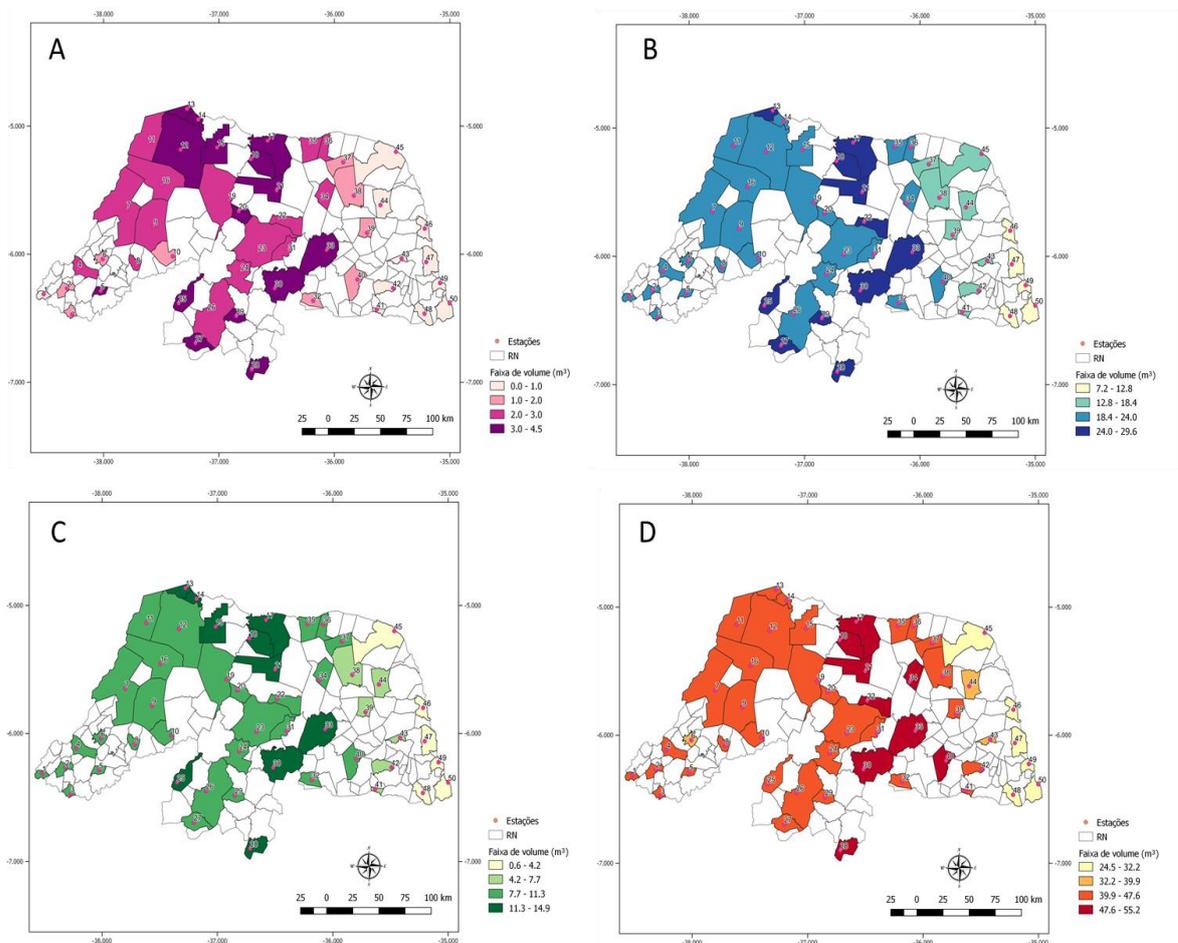
multicolinearidade, por sua vez, foi averiguada por meio da análise dos fatores de inflação da variância (VIF).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Dimensionamento das cisternas

Considerando os diferentes cenários de combinação de área de telhado e demanda, conforme explicitado no item 2.3, foram obtidos os volumes de cisternas dimensionadas por meio do método de Andrade Neto (Apêndice A). A figura 4 apresenta os volumes para quatro dos dezesseis cenários estudados, destacando o mais favorável (figura 4a), os intermediários (figuras 4b e 4c) e o mais desfavorável (figura 4d).

**Figura 4.** Volumes de cisternas para diferentes configurações de área de telhado e de demanda.



Em que: A) Demanda=50 l.dia<sup>-1</sup> e Área de telhado=200 m<sup>2</sup>; B) Demanda=100 l.dia<sup>-1</sup> e Área de telhado=150 m<sup>2</sup>; C) Demanda=150 l.dia<sup>-1</sup> e Área de telhado=100 m<sup>2</sup>; D) Demanda=200 l.dia<sup>-1</sup> e Área de telhado=50 m<sup>2</sup>.

A partir da análise das figuras 4a a 4d é possível notar que na região leste do Estado do Rio Grande do Norte, em que se concentram as maiores taxas de precipitação e se tem chuvas mais distribuídas ao longo do ano (figura 2), é onde seriam necessárias cisternas de menor volume.

Ainda a respeito da região leste, para o cenário mais favorável (figura 4a), alguns valores de volume da cisterna nessa região seriam nulos (Precipitação mensal > Precipitação crítica em todos os meses), indicando que as precipitações mensais seriam suficientes para atender a demanda, independentemente do tamanho da cisterna, ao se ter uma área de telhado de maiores dimensões (200 m<sup>2</sup>), favorecendo uma maior captação de água. Nesses casos, deve-se dimensionar uma cisterna cujo volume supra ao menos a demanda mensal, uma vez que na prática, não ocorre precipitação diariamente nos municípios do Estado.

Por outro lado, a tendência é que para todos os cenários expostos (figuras 4a a 4d) o volume das cisternas seja maior em municípios localizados na região central do Estado, visto que esta se encontra sujeita a baixos índices de precipitação, concentrados em poucos meses do ano. No que diz respeito aos valores intermediários, estes estão presentes, sobretudo, na parte sudoeste da região oeste do Estado, a qual se encontra sujeita ao efeito orográfico (ARAÚJO et al., 2015). Resultados semelhantes foram observados por Sousa et al. (2017), que para uma determinada condição de demanda e área de telhado, obtiveram um volume menor para a cidade de Natal (localizada na região leste do Estado) e maiores valores para os municípios das demais regiões do Rio Grande do Norte.

Ademais, ao serem observadas as mesmas regiões (com maiores valores de Pa e menores de PCD ou a situação contrária) nos diferentes cenários da figura 4, é possível notar que no cenário de maior demanda e menor área de telhado (figura 4d) seriam necessárias cisternas de volume muito elevado se comparado com os demais (figura 4a, 4b e 4c). Evidencia-se assim que a adoção de um volume padrão de dimensionamento de cisternas mostra-se completamente equivocada, em virtude das diferentes características de demanda e áreas de captação das residências, bem como da variabilidade temporal e espacial das precipitações no Estado (TROLEIS E SILVA; 2018; ARAÚJO et al., 2015).

### 3.1.1. Correlação entre as variáveis

De posse dos dados de dimensionamento, foram obtidas as correlações entre o volume da cisterna (V) e variáveis demanda (D), área (A), grau de concentração da precipitação (PCD), precipitação anual (Pa) e precipitação crítica (Pcr) (tabela 4).

**Tabela 4.** Correlações entre o volume da cisterna e as variáveis envolvidas no dimensionamento.

Variáveis	D (l.dia <sup>-1</sup> )	A (m <sup>2</sup> )	PCD	Pa (mm.ano <sup>-1</sup> )	Pcr (mm.mês <sup>-1</sup> )
V (m <sup>3</sup> )	0.82466	-0.34777	0.28593	-0.29684	0.81796

A análise de correlação entre o volume da cisterna e as variáveis envolvidas em seu dimensionamento, revela uma forte correlação positiva entre o volume e a demanda, bem como com a precipitação crítica. Ademais, tem-se uma fraca correlação negativa do volume com a área e com a precipitação anual. A respeito da variável hidrológica PCD, nota-se uma fraca correlação com volume.

Nesse sentido, os resultados demonstram que, para locais com D, PCD e Pcr maiores e/ou Pa e A menores, o método de Andrade Neto dimensiona cisternas de maiores volumes. Isso fica ainda mais evidenciado ao se observar a figura 4, em que se tem menores valores de PCD e maiores de Pa no leste e uma situação inversa na região mais central, uma vez que na medida em que se aumenta D e se diminui A (figura 4d), tem-se um aumento do volume e vice-versa (figura 4a); o que era de se esperar, visto que maiores áreas de captação contribuem para o aumento do potencial de captação e que, quanto maior a demanda, mais água será necessária para atendê-la.

### 3.1.2. Comparação mensal x quinzenal

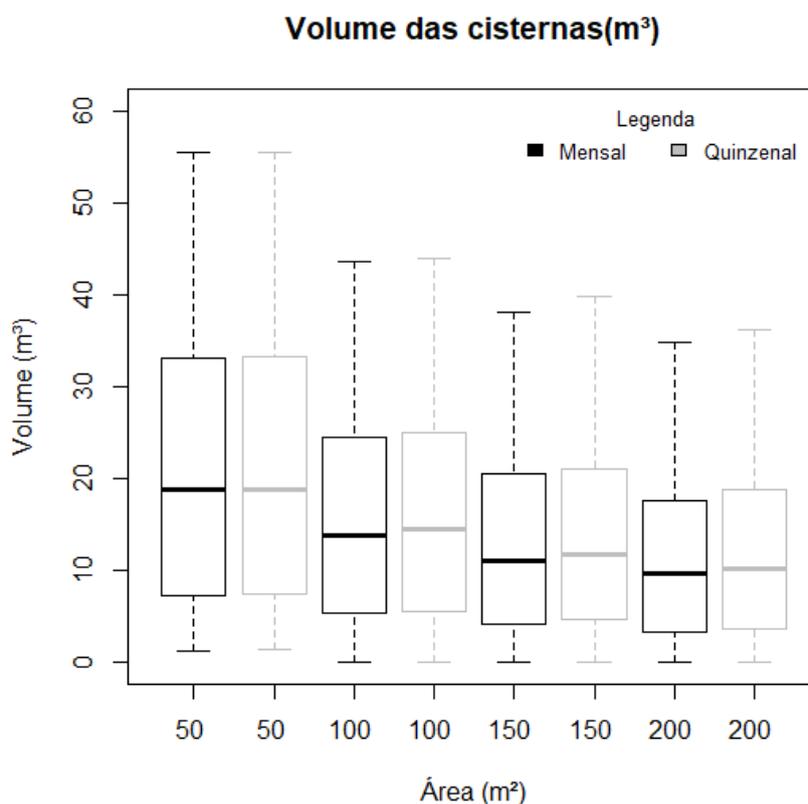
O dimensionamento das cisternas foi realizado considerando dados mensais e quinzenais para aplicação do método de Andrade Neto, tendo em vista avaliar o efeito do intervalo de tempo adotado para a obtenção do volume final da cisterna.

A figura 5 mostra os resultados alcançados para as quatro áreas de telhado testadas (50, 100, 150 e 200 m<sup>2</sup>). Embora o método quinzenal apresente-se um pouco mais preciso, a análise do gráfico possibilita inferir que na prática não há grandes diferenças entre os volumes finais obtidos considerando-se a variação da

precipitação mensal ou quinzenal, uma vez que os valores encontrados são bem próximos.

Diante disso, optar por utilizar as médias de precipitação mensal seria mais indicado, tendo em vista ser mais fácil a sua aplicação, por requerer uma quantidade menor de dados. Ademais, a obtenção de dados mensais é menos difícil do que de dados quinzenais e não há diferenças significativas que justifiquem a adoção do menor intervalo temporal.

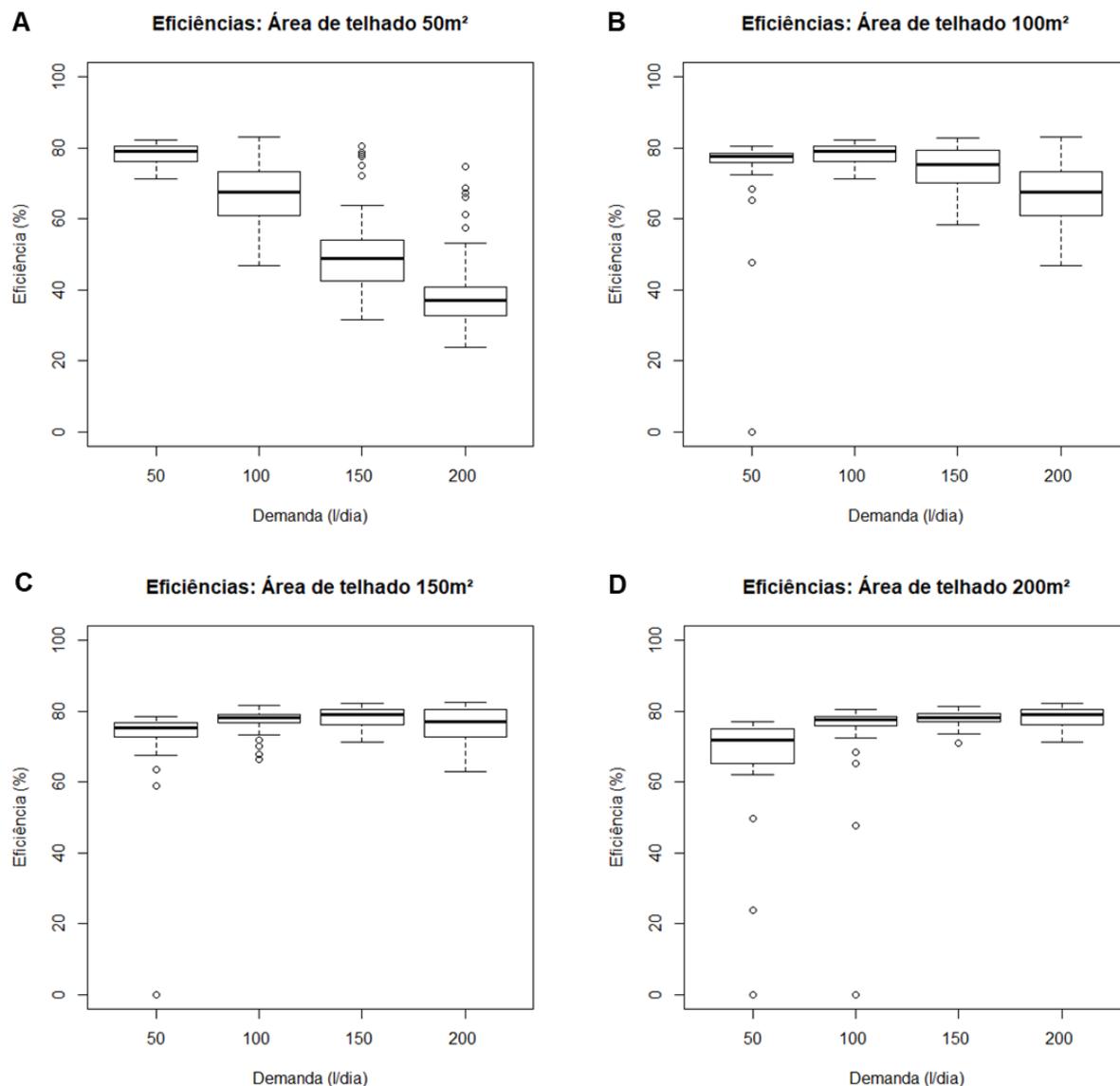
**Figura 5.** Variação do volume das cisternas considerando-se os intervalos de tempo mensal e quinzenal.



### 3.2. Eficiência das cisternas

Visando avaliar o método de Andrade Neto, a eficiência das cisternas foi calculada por meio do método YAS, utilizando-se dados de precipitação diária. Os valores obtidos para os diferentes cenários de demanda e área de telhado são apresentados na figura 6.

**Figura 6.** Variação da eficiência em função da área de telhado e demandas.



A partir da análise dos gráficos é possível inferir que há uma mudança de comportamento à medida que se aumenta a área de telhado e a demanda, sendo a variação da eficiência mais evidenciada quando se tem áreas de telhados menores (figuras 6a e 6b).

Observa-se na figura 6a que conforme se aumenta a demanda tem-se uma perda de eficiência, indicando que o tamanho dessa área de telhado (50 m<sup>2</sup>), seria insuficiente para viabilizar a captação para o atendimento de demandas superiores a 100 l.dia<sup>-1</sup>, dado o regime pluviométrico da região. Essa perda de eficiência continua a se apresentar quando se tem uma área de telhado um pouco maior (figura 6b), entretanto, em grau menos acentuado.

Para as áreas de telhado maiores, de 150 m<sup>2</sup> e 200 m<sup>2</sup> (figuras 6c e 6d), as eficiências considerando-se diferentes demandas tendem a apresentar valores próximos (mediana de valores na faixa entre 70 e 80%), revelando-se como os melhores cenários para o atendê-las. Dessa forma, ao se ter uma área de captação a partir de 150 m<sup>2</sup>, o limitante no atendimento às demandas passa a ser o regime pluviométrico e não mais a área.

A tabela 5 expõe a estatística descritiva no que se refere às diferentes áreas de telhado simuladas (50, 100, 150 e 200 m<sup>2</sup>). Complementarmente, a figura 7 traz os valores de eficiência encontrados para quatro dos dezesseis cenários simulados: A) D= 50 l.dia<sup>-1</sup> e A= 200 m<sup>2</sup>, B) D= 100 l.dia<sup>-1</sup> e A= 150 m<sup>2</sup>, C) D= 150 l.dia<sup>-1</sup> e A= 100 m<sup>2</sup> e D) D= 200 l.dia<sup>-1</sup> e A= 50 m<sup>2</sup>.

De acordo com o exposto na tabela 5, para as diferentes áreas de telhado 75% dos valores encontrados superam as eficiências de 42,46% para A=50 m<sup>2</sup>, 69,72% para A=100 m<sup>2</sup>, 74,49% para A=150 m<sup>2</sup> e 74% para A=200 m<sup>2</sup>. Para todos os casos, a máxima eficiência possível que pode ser alcançada é de aproximadamente 83%. Essa eficiência máxima implica na ocorrência de uma falha em torno de 17%, devido à limitação no atendimento em decorrência do regime pluviométrico, o que justifica a frequente utilização de carros pipa em períodos de seca extrema, tão comum no semiárido.

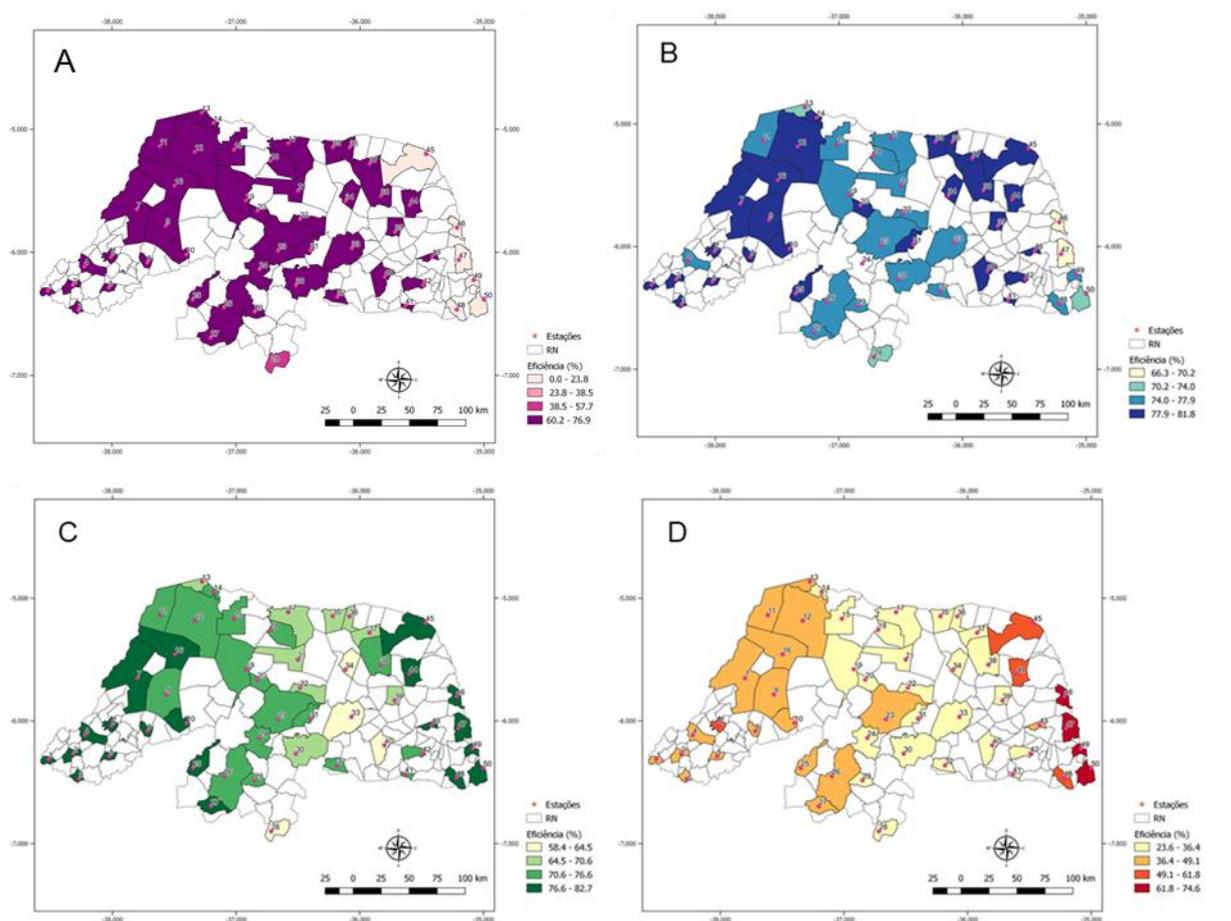
**Tabela 5.** Estatística descritiva da eficiência em função da área de telhado.

Área de telhado (m <sup>2</sup> )	Mínimo	1º quartil	Mediana	Média	3º quartil	Máximo	Desvio padrão
50	23,65	42,46	61,06	58,74	76,53	83,13	17,71
100	0,00	69,72	76,52	73,01	79,01	83,13	10,06
150	0,00	74,49	77,02	75,07	79,12	82,16	10,01
200	0,00	74,00	77,02	72,73	78,88	82,21	12,79

Dentre os cenários destacados na figura 7, os valores mais elevados de eficiência (76,6% a 82,7%) são encontrados principalmente no sudoeste e no leste do Estado, no cenário intermediário de D=150 l.dia<sup>-1</sup> e A=100 m<sup>2</sup> (figura 7c). Entretanto, é no cenário da figura 7b que se apresentam as melhores estimativas

gerais, já que quase todos os municípios possuem eficiência superior a 70%, com exceção de Natal (67,8%) e Nísia Floresta (66,3%), o que está associado ao fato do método de Andrade Neto se adequar melhor para cidades com índices de precipitação anual inferiores a  $1000 \text{ mm.ano}^{-1}$  e alto grau de concentração da precipitação (PCD), tendo em vista que foi desenvolvido para o semiárido.

**Figura 7.** Eficiência de cisternas para diferentes configurações de área de telhado e de demanda.



Em que: A) Demanda=50 l.dia<sup>-1</sup> e Área de telhado=200 m<sup>2</sup>; B) Demanda=100 l.dia<sup>-1</sup> e Área de telhado=150 m<sup>2</sup>; C) Demanda=150 l.dia<sup>-1</sup> e Área de telhado=100 m<sup>2</sup>; D) Demanda=200 l.dia<sup>-1</sup> e Área de telhado=50 m<sup>2</sup>.

No que tange aos valores mínimos, os menores valores de eficiência estão associados aos cenários mais favoráveis (como o da figura 7a) das cidades com altos índices de precipitação (Natal, Nísia Floresta, Tibau do Sul, Touros e Pedro Velho) e chuvas bem distribuídas ao longo do ano (baixos valores de PCD), em que a demanda fornecida pela precipitação mostrou-se mais alta que a necessária em todos os meses do ano, de modo que os volumes finais gerados pelo método de

Andrade Neto tenderam a zero nessas situações e, conseqüentemente, também a eficiência.

Esses resultados refletem o fato de que o método de Andrade Neto foi desenvolvido para a região semiárida, conforme já citado anteriormente, não se adequando para ser utilizado em locais com chuvas mais regulares e de índices de precipitação superiores a  $1000 \text{ mm.ano}^{-1}$ , ao se ter uma combinação de baixa demanda por água ( $50 \text{ l.dia}^{-1}$ ) e área de telhado de grandes dimensões ( $200 \text{ m}^2$ ). Nesses casos, a fim de garantir o abastecimento e obterem-se eficiências melhores, as cisternas poderiam ser dimensionadas considerando-se um volume que suprisse a demanda mensal.

Essa diferença de eficiência para a região leste quando sujeita a cenários distintos ao se realizar o dimensionamento via método de Andrade Neto, ocorre porque, nos cenários menos favoráveis, o fato da chuva ser mais bem distribuída nesses municípios ao longo do ano contribui para que se tenha menos déficit no atendimento da demanda pela cisterna. Por outro lado, nos cenários mais favoráveis, a precipitação crítica é menor que a precipitação mensal em praticamente todos os meses na região leste, de modo que a cisterna dimensionada é muito pequena.

Afora essas situações, as menores eficiências ficam mais evidenciadas no cenário de pequena área de telhado e alta demanda (figura 7d), em que quase metade das cidades possui eficiência entre 23,6 a 36,4%.

Assim, os resultados revelam que a aplicação do método mostra-se adequada, principalmente quando se tem uma área de telhado superior a  $50 \text{ m}^2$ ; e ineficiente para localidades em que se tenha uma combinação de alta precipitação, grande área de telhado, baixa demanda e chuvas bem distribuídas durante o ano. Além disso, apesar do Método de Andrade Neto dimensionar cisternas maiores para as situações mais desfavoráveis de atendimento da demanda, ou seja, maior demanda, menor área de telhado, menor precipitação anual e maior concentração desta precipitação, ele não consegue obter eficiências elevadas nestas condições.

Adicionalmente, no Rio Grande do Norte, de acordo com dados de 118 municípios apresentados por Sousa (2016), cerca de 80% das moradias possui entre 2 e 4 habitantes e a faixa de área de telhado mais frequente nessas habitações é de 40 a  $100 \text{ m}^2$ , estando algumas delas inseridas, assim, entre os cenários menos

favoráveis de eficiência das cisternas (conforme pode ser verificado na figura 6a, em que, para uma área de telhado de 50 m<sup>2</sup>, tem-se eficiências inferiores a 60% para a demanda de 150 l.dia<sup>-1</sup> e a 40% para uma demanda de 200 l.dia<sup>-1</sup>).

Cohim e Orrico (2015) propõem que, nos casos em que se tenha uma alta demanda e que a área de telhado seja insuficiente, é mais recomendável que seja realizada uma ampliação na área de coleta do que aumentar o volume da cisterna, tendo em vista alcançar a meta de abastecimento das famílias. Outras opções seriam, quando inviável essa ampliação da área de coleta, reduzir o consumo per capita para aumentar a eficiência da cisterna, bem como a associação do uso de cisternas com outras soluções alternativas para o incremento da disponibilidade hídrica.

### **3.3. Modelos matemáticos**

A partir da regressão linear múltipla via método de Stepwise, foram testados os três tipos de equações de regressão (geral, por área de telhado e por grupos homogêneos) e selecionados os melhores conjuntos de variáveis para cada uma delas.

A equação de regressão geral foi obtida englobando todos os dezesseis cenários possíveis. Neste caso, todas as variáveis testadas (explicitadas no item 2.5) - com exceção da área de telhado (A) - foram consideradas relevantes para o modelo ( $p < 0,001$ ) e o  $R^2_{aj}$  obtido foi 0,957.

As equações de regressão subdivididas por área de telhado foram geradas em função das quatro diferentes áreas de telhado testadas: 50, 100, 150 e 200 m<sup>2</sup>. As variáveis selecionadas como estatisticamente significativas ( $p < 0,001$ ) foram D, Pa e PCD para as áreas de telhado de 50, 100 m<sup>2</sup> e 200 m<sup>2</sup>, enquanto para a área de 150, D, Pa, PCD e Pcr foram incluídas pelo modelo.

Por fim, as equações geradas por grupos, foram obtidas considerando-se os seis grupos representantes das zonas pluviais homogêneas do Estado. Neste caso, para o grupo 3, todas as variáveis testadas foram incluídas pelo modelo. Enquanto para os demais grupos, foram incluídas D, Pcr, PCD e Pa. O apêndice B traz a divisão das 50 cidades por grupos homogêneos.

A ausência da variável área de telhado (A) isoladamente, em quase todas as equações geradas, pode ser justificada pelo fato de que a área encontra-se incluída

indiretamente, por meio da variável precipitação crítica (Pcr), que é dependente do consumo mensal, área de captação e coeficiente runoff.

Embora as equações geral e por área de telhado tenham apresentado valores de  $R^2_{aj}$  próximos a 1 (tabela 6), ao se realizar a análise dos resíduos a utilização destas não se mostrou tão adequada, mesmo após a transformação de variáveis via Box-Cox. Isso está ligado ao fato de que estes não atenderam ao pressuposto da normalidade da regressão linear múltipla ao se aplicar o teste de Shapiro Wilk, já que os p-valores associados à estatística W do teste foram significativos ( $p < 0,05$ ), exceto para  $A=50 \text{ m}^2$  (tabela 7). Para a transformação das variáveis, foram obtidos os melhores valores  $\lambda$  por máxima verossimilhança, na tentativa de reduzir a variabilidade existente e normalizar os resíduos, desconsiderando-se os casos em que o volume obtido pelo método de Andrade Neto foi zero.

As tabelas 6 e 7 apresentam, respectivamente, as equações geral e por área de telhado, bem como os teste de normalidade de seus resíduos.

**Tabela 6.** Equações de dimensionamento geral e por área de telhado.

<b>Tipo de equação</b>	<b>Equação</b>	<b><math>R^2_{aj}</math></b>
Geral	$V = (-1,88 + 0,94D - 2,60Pa + 6,47PCD + 33,08Pcr)^{1,6}$	0,984
Área de telhado = 50m <sup>2</sup>	$V = (0,60 + 1,21D - 1,85Pa + 2,75PCD)^{1,82}$	0,993
Área de telhado = 100m <sup>2</sup>	$V = (-1,12 + 1,07D - 1,91Pa + 5,12PCD)^{1,78}$	0,992
Área de telhado = 150m <sup>2</sup>	$V = (-0,77 + 0,42D - 1,47Pa + 4,16PCD + 29,67Pcr)^{2,11}$	0,993
Área de telhado = 200m <sup>2</sup>	$V = (-2,24 + 1,03D - 2,59Pa + 6,88PCD)^{1,71}$	0,985

**Tabela 7.** Teste de Normalidade dos resíduos para a equação geral e equações por área.

<b>Tipo de equação</b>	<b>W</b>	<b>p-value</b>
Geral	0,97529	$3,01 \cdot 10^{-10}$
Área de telhado = 50m <sup>2</sup>	0,98967	0,1598
Área de telhado = 100m <sup>2</sup>	0,98219	0,01334
Área de telhado = 150m <sup>2</sup>	0,98194	0,013
Área de telhado = 200m <sup>2</sup>	0,98441	0,03165

Em relação aos grupos homogêneos, foi possível realizar uma transformação da variável resposta (volume) por meio do procedimento de Box Cox satisfatória, com intuito de solucionar problemas relacionados à variância não constante e/ou não atendimento da normalidade.

A tabela 8 apresenta as equações de regressão geradas considerando-se a divisão por grupos homogêneos, bem como o R<sup>2</sup> ajustado obtido para cada uma delas.

**Tabela 8.** Equações de dimensionamento para os grupos homogêneos.

<b>Tipo de equação</b>	<b>Equação</b>	<b>R<sup>2</sup><sub>aj</sub></b>
Grupo 1	$V = (-1,93 + 1,32D - 4,12Pa + 6,82PCD + 40,84Pcr)^{1,47}$	0,993
Grupo 2	$V = (-0,99 + 0,82D - 2,7Pa + 5,04PCD + 36,57Pcr)^{1,67}$	0,994
Grupo 3	$V = (-5,07 + 0,9D - 2,04Pa + 16,28PCD + 26,71Pcr - 0,01A)^{1,53}$	0,996
Grupo 4	$V = (-5,83 + 0,87D - 3,13Pa + 16,04PCD + 44,08Pcr)^{1,54}$	0,987
Grupo 5	$V = (-4,98 + 1,54D - 2,87Pa + 10,04PCD + 44,85Pcr)^{1,41}$	0,995
Grupo 6	$V = (-9,72 + 1,6D - 2,59Pa + 16,73PCD + 53,2Pcr)^{1,35}$	0,992

Em que: D corresponde à demanda (m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>); A é a área de telhado (m<sup>2</sup>); Pa é a precipitação anual (m), PCD é o grau de concentração da precipitação e Pcr corresponde a precipitação crítica (m).

Os sinais negativos dos preditores A e Pa indicam a ocorrência de uma relação inversamente proporcional dessas variáveis com V, o que reitera o pressuposto de que casas com maiores áreas de telhado e localizadas em regiões de maiores precipitações, necessitariam de cisternas menores, confirmando as correlações expostas na tabela 4.

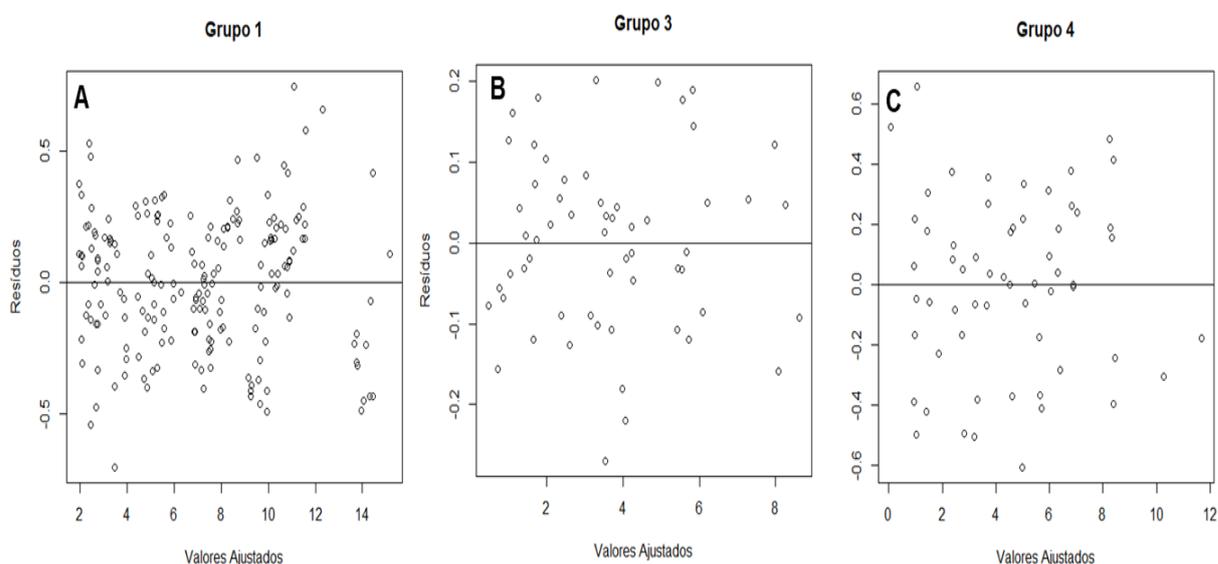
Os resultados das regressões mostraram-se satisfatórios, haja vista que a distribuição dos resíduos apresentou-se aproximadamente normal, conforme o teste de normalidade de Shapiro Wilk (tabela 9), não houve multicolinearidade entre as variáveis (VIF<10) e se atendeu aos demais pressupostos da regressão linear múltipla (independência dos erros, homocedasticidade), uma vez que os resíduos não seguiram nenhuma tendência, como pode ser visualizado na figura 8, que traz os gráficos dos resíduos versus valores preditos para os grupos 1 (localizado na região mais central do Estado), grupo 3 (leste) e grupo 4 (oeste). Para todos os

grupos, todas as variáveis explicativas foram estatisticamente significativas ( $p < 0,001$ ).

**Tabela 9.** Teste de normalidade de Shapiro Wilk para os grupos homogêneos

Grupo	W	p-value
1	0,99144	0,3157
2	0,98719	0,5225
3	0,98257	0,5898
4	0,98248	0,5417
5	0,99457	0,6017
6	0,98334	0,1182

**Figura 8.** Resíduos versus valores ajustados referentes aos grupos: A) 1, B) 3 e C) 4.



Para o uso das equações expostas na tabela 7, o usuário deve inicialmente obter o valor da precipitação crítica (equação 5) para sua residência e verificar em qual grupo a cidade em que mora se enquadra (figura 3). De posse dessas informações, o usuário pode obter o valor da variável PCD e da precipitação anual para os municípios utilizados neste estudo (apêndice B). Caso a cidade não pertença à listagem dos municípios verificados, é recomendável que se utilizem dados de precipitação anual e PCD da cidade pertencente ao mesmo grupo mais próxima. Por fim, nos casos em que o tamanho da cisterna dimensionada seja muito

pequeno (inferior a  $0,5 \text{ m}^3$ ), deve-se adotar um valor mínimo correspondente a demanda mensal.

A geração dos modelos matemáticos demonstrou que a obtenção de equações por grupos homogêneos traz uma importante contribuição, ao facilitar o processo de cálculo do volume de cisternas para as diferentes regiões do Estado, incorporando a variável PCD nesse processo, de modo a considerar a variabilidade temporal no método de dimensionamento sem precisar calcular a precipitação total dos meses em que houve déficit ( $P_d$ ) ao se verificarem diferentes cenários para uma mesma cidade.

#### 4. CONCLUSÕES

- Alterar o intervalo de tempo mensal para quinzenal no processo da obtenção do volume final da cisterna, não é indicado, visto que dificulta o processo de cálculo, sem gerar uma diferença no ganho de eficiência significativa.
- Na aplicação do método de Andrade Neto, a combinação de altas demandas e áreas pequenas de telhado resulta no dimensionamento de cisternas de maior volume, no entanto com baixas eficiências, exceto no leste do Estado. É possível observar ainda, no caso de áreas de telhado de  $50 \text{ m}^2$ , uma queda de eficiência relevante à medida que a demanda cresce. Nessas situações, é mais aconselhável aumentar a área de captação da cisterna do que seu volume (quando viável); reduzir a demanda por água para valores inferiores a pelo menos  $100 \text{ l.dia}^{-1}$  ou associar o uso de cisternas a soluções alternativas para o incremento da disponibilidade hídrica.
- Ao se observar o comportamento das cisternas ao variar a área de telhado e demanda para as diferentes regiões pluviométricas do Estado do Rio Grande do Norte, é possível notar a influência da variação do volume para situações distintas, corroborando com o pressuposto de que a adoção de um volume padrão para todas as localidades mostra-se inadequado.
- As cisternas dimensionadas pelo método de Andrade Neto resultam em tamanhos menores na região leste do Estado e maiores volumes na região central, em função da diferença de valor das variáveis PCD e  $P_a$ , para mesmos valores de  $A$ ,  $D$  e  $P_{cr}$ . Assim, considerar a variabilidade temporal e espacial da precipitação mostra-se relevante na análise do comportamento das cisternas.

- O desenvolvimento das equações empíricas considerando grupos homogêneos mostra-se vantajoso, uma vez que permite ter equações específicas para regiões com características semelhantes, gerando resultados mais próximos da equação original do método de Andrade Neto.
- Recomenda-se que para o grupo homogêneo 3, referente a região leste do Estado, seja desenvolvida uma equação empírica diferenciada, tendo em vista que o método de Andrade Neto obteve baixa eficiência em alguns dos cenários referentes a este grupo, não se adequando a situações que combinaram precipitação bem distribuída ao longo do ano e superior a 1000 mm/ano, baixa demanda e área de telhado de 200 m<sup>2</sup>.

## REFERÊNCIAS

ADEYEYE, K. (Ed.). **Water Efficiency in Buildings: Theory and Practice**. John Wiley & Sons, 2014.

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.

ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). **Encarte Especial sobre a Crise Hídrica: Informe 2014. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil, 2015**, 31 p.

ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília - DF, 2005. 123 p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemand a.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2017.

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, V. H. de. **Ferramenta gráfica para o dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de águas pluviais: estudo de caso na região norte de Rondônia**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ANDRADE NETO, C. O. Uso de esgoto tratado e aproveitamento imediato da água da chuva como recurso hídrico alternativo para o semiárido nordestino. Capítulo 5; p. 91-127. In: MATTOS, A. & MATTOS, K. M. C. (editores) et al. **Projeto MEVEMUC – Monitoramento da Evaporação e as Mudanças Climáticas**. João Pessoa: Moura Ramos Gráfica Editora. 580 p. 2014.

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

ARAÚJO, J. F.; COHIM, E. THE INTERFERENCE OF RAINFALL DISTRIBUTION IN SIZE OF RAIN WATER TANKS IN BAHIA. **Journal of Engineering and Technology for Industrial**. v. 3, p. 01-05, 2017.

ARAÚJO, J. M. S.; MAIA, A. G.; NEVES, J. A. USO DOS ÍNDICES PCP E PCD NA DETERMINAÇÃO DE REGIÕES COM PRECIPITAÇÃO PLUVIAL HOMOGENEA. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 122-142, 2015.

ASA, **Articulação do semiárido. Ações – Programa um milhão de cisternas**. Disponível em <<http://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc>>. Acesso em: 13 ago. 2017.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, v.26, p. 211-252, 1964.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 4. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2015. 642 p.

CAMPISANO, A. et al. Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. **Water Research**, v. 115, p. 195-209, 2017.

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Appropriate resolution timescale to evaluate water saving and retention potential of rainwater harvesting for toilet flushing in single houses. **Journal of Hydroinformatics**, v. 17, n. 3, p. 331-346, 2015.

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.; 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.

FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. **Urban water**, v. 1, n. 4, p. 323-333, 2000.

FEWKES, A.; BUTLER, D. Simulating the performance of rainwater collection and reuse systems using behavioural models. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 21, n. 2, p. 99-106, 2000.

GHISI, E. Parameters Influencing the Sizing of Rainwater Tanks for Use in Houses. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 24, n. 10, p.2381-2403, dez. 2009.

GHISI, E. (Ed.). **Frontiers in Civil Engineering: Water Savings in Buildings**. [s.i.]: Bentham Science, 2017. 306 p.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional da água em edificações**. 1 ed. Rio de Janeiro: Prosab/Abes, 2006.

HAIR, J, F. et al. **Análise multivariada de dados**. Bookman Editora, 2009.

HAQUE, M. M.; RAHMAN, A.; SAMALI, B. Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 60-69, 2016.

HOFFMANN, R, et al. **Análise de regressão: uma introdução à econometria**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2016, 393 p.

IMTEAZ, M.; AHSAN, A.; SHANABLEH, A. Reliability analysis of rainwater tanks using daily water balance model: Variations within a large city. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 77, p. 37-43, 2013.

IMTEAZ, M.; RAHMAN, A.; AHSAN, A. Reliability analysis of rainwater tanks: a comparison between South-East and Central Melbourne. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 66, p. 1-7, 2012.

JENKINS, D.; PEARSON, F.; MOORE, E.; SUN, J.K.; VALENTINE, R. **Feasibility of rainwater collection systems in California**. In: Contribution N. 173. California Water Resources Center. University of California. 1978.

KHASTAGIR, A.; JAYASURIYA, N. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. **Journal Of Hydrology**, [s.l.], v. 381, n. 3-4, p.181-188, fev. 2010.

LEVINE, D. M. et al. **Statística - teoria e aplicações usando o microsoft Excel em português**, Rio de Janeiro: LTC, 2005. 3 ed.

LI, X.; JIANG, F.; LI, L.; WANG, G. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. **International Journal of Climatology**. v.31, p.1679–1693, 2011

MELVILLE-SHREEVE, P.; WARD, S.; BUTLER, D. Rainwater harvesting typologies for UK houses: a multi criteria analysis of system configurations. **Water**, v. 8, n. 4, p. 129, 2016.

MITCHELL, V. G. How important is the selection of computational analysis method to the accuracy of rainwater tank behaviour modelling? **Hydrological Processes**, v.21, p.2850-2861, 2007.

MUKLADA, H.; GILBOA, Y.; FRIEDLER, E. Stochastic modelling of the hydraulic performance of an onsite rainwater harvesting system in Mediterranean climate. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 16, n. 6, p. 1614-1623, 2016.

OLAOYE R. A. et al. EXAMINING THE EFFECTIVENESS OF RAINWATER COLLECTION SYSTEMS IN A NIGERIAN LEPPER COLONY USING THE BEHAVIOURAL MODEL. **Arpn Journal of Engineering and Applied Sciences**. [s.i], v.8, n.1. p. 1-8. jan. 2013.

PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. G. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. **Journal of Hydrology**, v. 401, n. 1, p. 65-76, 2011.

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.

PETROVICH, A. C. I.; ARAÚJO, M. F. F. de. Percepção de professores e alunos sobre os usos e a qualidade da água em uma região semi-árida brasileira. **Educação Ambiental em Ação**, v.8, n.29, p. 29, set./dez. 2009.

RAHMAN, A.; KEANE, J.; IMTEAZ, M. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 61, p.16-21, abr. 2012.

RAIMONDI, A.; BECCIU, G. Probabilistic modeling of rainwater tanks. **Procedia Engineering**, v. 89, p. 1493-1499, 2014.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SOUSA, A. B.; ANDRADE NETO, C. O.; MAIA, A. G. Análise crítica de métodos de dimensionamento de cisterna. In: X Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2016. Belém. **Anais do X Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva**, 2016.

SOUSA, A. B.; ANDRADE NETO, C. O.; MAIA, A. G. ANÁLISE DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE CISTERNAS COM BASE NA AVALIAÇÃO DE VOLUMES CALCULADOS PARA ZONAS PLUVIAIS HOMOGENEAS DISTINTAS. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 5, p. 147, 2017.

SOUSA, A. B. **Dimensionamento de cisternas e proposta de tipologias de volume para regiões pluviais homogêneas**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

TROLEI, A. L.; SILVA, B. L. da. Os recursos hídricos do Rio Grande do Norte: uma análise da vulnerabilidade territorial ao colapso no abastecimento de água. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 34, 2018.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643 p.

WARD, S.; MEMON, F. A.; BUTLER, D. Rainwater harvesting: model-based design evaluation. **Water Science and Technology**, v. 61, n. 1, p. 85-96, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Right to Water**. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2003. n.3, 44 p.

## APÊNDICE A – VOLUMES DAS CISTERNAS DIMENSIONADAS

**Tabela A-1.** Volumes obtidos para área de telhado=50 m<sup>2</sup>. Em que D é a demanda mensal em m<sup>3</sup>.mês<sup>-1</sup> e V é o volume da cisterna em m<sup>3</sup>.

<b>Cidade</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>
Afonso Bezerra	1,50	<b>7,13</b>	3,00	<b>18,57</b>	4,50	<b>33,12</b>	6,00	<b>48,24</b>
Apodi	1,50	<b>6,03</b>	3,00	<b>16,29</b>	4,50	<b>29,16</b>	6,00	<b>44,16</b>
Assu	1,50	<b>6,25</b>	3,00	<b>17,09</b>	4,50	<b>30,54</b>	6,00	<b>46,06</b>
Baía Formosa	1,50	<b>1,53</b>	3,00	<b>7,20</b>	4,50	<b>15,92</b>	6,00	<b>26,42</b>
Bodó	1,50	<b>6,19</b>	3,00	<b>17,07</b>	4,50	<b>31,04</b>	6,00	<b>46,04</b>
Caiçara do Norte	1,50	<b>6,20</b>	3,00	<b>16,55</b>	4,50	<b>31,03</b>	6,00	<b>46,52</b>
Caicó	1,50	<b>6,46</b>	3,00	<b>17,03</b>	4,50	<b>30,53</b>	6,00	<b>45,04</b>
Caraúbas	1,50	<b>5,94</b>	3,00	<b>15,72</b>	4,50	<b>29,03</b>	6,00	<b>44,03</b>
Coronel Ezequiel	1,50	<b>5,26</b>	3,00	<b>15,94</b>	4,50	<b>30,59</b>	6,00	<b>46,15</b>
Currais Novos	1,50	<b>7,05</b>	3,00	<b>18,95</b>	4,50	<b>33,95</b>	6,00	<b>50,33</b>
Equador	1,50	<b>8,70</b>	3,00	<b>21,82</b>	4,50	<b>37,54</b>	6,00	<b>55,54</b>
Fernando Pedroza	1,50	<b>6,75</b>	3,00	<b>18,37</b>	4,50	<b>33,10</b>	6,00	<b>48,41</b>
Galinhas	1,50	<b>6,17</b>	3,00	<b>16,57</b>	4,50	<b>30,92</b>	6,00	<b>45,92</b>
Grossos	1,50	<b>6,80</b>	3,00	<b>17,79</b>	4,50	<b>30,88</b>	6,00	<b>45,88</b>
Itajá	1,50	<b>6,65</b>	3,00	<b>17,57</b>	4,50	<b>31,02</b>	6,00	<b>46,02</b>
Janduís	1,50	<b>6,03</b>	3,00	<b>16,25</b>	4,50	<b>28,90</b>	6,00	<b>43,90</b>
Jardim de Piranhas	1,50	<b>7,16</b>	3,00	<b>17,66</b>	4,50	<b>30,79</b>	6,00	<b>45,74</b>
João Câmara	1,50	<b>4,49</b>	3,00	<b>13,77</b>	4,50	<b>26,44</b>	6,00	<b>43,16</b>
Macau	1,50	<b>6,92</b>	3,00	<b>18,95</b>	4,50	<b>33,60</b>	6,00	<b>48,79</b>
Mossoró	1,50	<b>6,03</b>	3,00	<b>16,13</b>	4,50	<b>28,70</b>	6,00	<b>43,70</b>
Natal	1,50	<b>1,41</b>	3,00	<b>7,00</b>	4,50	<b>14,54</b>	6,00	<b>24,52</b>
Nísia Floresta	1,50	<b>1,19</b>	3,00	<b>6,82</b>	4,50	<b>14,91</b>	6,00	<b>25,41</b>
Paraná	1,50	<b>5,58</b>	3,00	<b>15,78</b>	4,50	<b>27,12</b>	6,00	<b>41,33</b>
Parazinho	1,50	<b>5,14</b>	3,00	<b>14,12</b>	4,50	<b>28,30</b>	6,00	<b>44,94</b>
Passa e Fica	1,50	<b>3,81</b>	3,00	<b>12,16</b>	4,50	<b>24,59</b>	6,00	<b>41,43</b>
Pau dos Ferros	1,50	<b>6,04</b>	3,00	<b>16,54</b>	4,50	<b>28,86</b>	6,00	<b>43,40</b>
Pedra Preta	1,50	<b>6,28</b>	3,00	<b>18,79</b>	4,50	<b>33,79</b>	6,00	<b>51,60</b>
Pedro Velho	1,50	<b>2,19</b>	3,00	<b>8,58</b>	4,50	<b>18,58</b>	6,00	<b>29,54</b>
Pendências	1,50	<b>6,80</b>	3,00	<b>18,48</b>	4,50	<b>32,94</b>	6,00	<b>47,94</b>
Pilões	1,50	<b>6,48</b>	3,00	<b>16,98</b>	4,50	<b>29,47</b>	6,00	<b>44,45</b>
Portalegre	1,50	<b>5,55</b>	3,00	<b>15,28</b>	4,50	<b>25,90</b>	6,00	<b>39,13</b>
Rafael Godeiro	1,50	<b>5,90</b>	3,00	<b>15,94</b>	4,50	<b>28,21</b>	6,00	<b>43,21</b>
Riacho de Santana	1,50	<b>5,58</b>	3,00	<b>15,85</b>	4,50	<b>26,99</b>	6,00	<b>41,01</b>
Santa Maria	1,50	<b>4,50</b>	3,00	<b>14,15</b>	4,50	<b>27,87</b>	6,00	<b>45,42</b>
Santana do Matos	1,50	<b>6,62</b>	3,00	<b>17,42</b>	4,50	<b>30,68</b>	6,00	<b>45,68</b>
São José do Seridó	1,50	<b>6,84</b>	3,00	<b>18,09</b>	4,50	<b>31,75</b>	6,00	<b>46,75</b>
São Tomé	1,50	<b>6,85</b>	3,00	<b>19,85</b>	4,50	<b>35,32</b>	6,00	<b>53,32</b>
Serra do Mel	1,50	<b>6,40</b>	3,00	<b>17,43</b>	4,50	<b>30,73</b>	6,00	<b>45,73</b>
Serrinha	1,50	<b>4,14</b>	3,00	<b>13,15</b>	4,50	<b>25,84</b>	6,00	<b>43,18</b>

Continua

Continuação

<b>Cidade</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>
Taipu	1,50	<b>3,97</b>	3,00	<b>11,61</b>	4,50	<b>21,42</b>	6,00	<b>32,59</b>
Tangará	1,50	<b>5,11</b>	3,00	<b>17,59</b>	4,50	<b>33,25</b>	6,00	<b>51,25</b>
Tibau	1,50	<b>7,07</b>	3,00	<b>17,77</b>	4,50	<b>30,54</b>	6,00	<b>45,54</b>
Tibau do Sul	1,50	<b>1,92</b>	3,00	<b>8,02</b>	4,50	<b>17,07</b>	6,00	<b>27,57</b>
Touros	1,50	<b>3,11</b>	3,00	<b>10,93</b>	4,50	<b>20,64</b>	6,00	<b>31,14</b>
Venha Ver	1,50	<b>5,24</b>	3,00	<b>15,14</b>	4,50	<b>26,38</b>	6,00	<b>40,64</b>
Vera Cruz	1,50	<b>3,60</b>	3,00	<b>11,64</b>	4,50	<b>22,23</b>	6,00	<b>36,56</b>
Governador Dix Sept Rosado	1,50	<b>6,14</b>	3,00	<b>16,33</b>	4,50	<b>29,42</b>	6,00	<b>44,42</b>
São João do Sabugi	1,50	<b>6,95</b>	3,00	<b>17,48</b>	4,50	<b>30,70</b>	6,00	<b>45,23</b>
Florânia	1,50	<b>6,63</b>	3,00	<b>17,31</b>	4,50	<b>30,86</b>	6,00	<b>45,86</b>
Baraúna	1,50	<b>6,37</b>	3,00	<b>16,75</b>	4,50	<b>28,79</b>	6,00	<b>43,54</b>

**Tabela A-2.** Volumes obtidos para área de telhado=100 m<sup>2</sup>. Em que D é a demanda mensal em m<sup>3</sup>.mês<sup>-1</sup> e V é o volume da cisterna em m<sup>3</sup>.

<b>Cidade</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>
Afonso Bezerra	1,50	<b>5,57</b>	3,00	<b>14,25</b>	4,50	<b>25,14</b>	6,00	<b>37,14</b>
Apodi	1,50	<b>4,37</b>	3,00	<b>12,07</b>	4,50	<b>21,13</b>	6,00	<b>32,58</b>
Assu	1,50	<b>4,14</b>	3,00	<b>12,51</b>	4,50	<b>22,38</b>	6,00	<b>34,19</b>
Baia Formosa	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>3,07</b>	4,50	<b>8,17</b>	6,00	<b>14,39</b>
Bodó	1,50	<b>4,46</b>	3,00	<b>12,39</b>	4,50	<b>22,58</b>	6,00	<b>34,14</b>
Caiçara do Norte	1,50	<b>4,91</b>	3,00	<b>12,41</b>	4,50	<b>21,05</b>	6,00	<b>33,09</b>
Caicó	1,50	<b>4,43</b>	3,00	<b>12,93</b>	4,50	<b>23,43</b>	6,00	<b>34,06</b>
Caraúbas	1,50	<b>4,35</b>	3,00	<b>11,89</b>	4,50	<b>20,94</b>	6,00	<b>31,44</b>
Coronel Ezequiel	1,50	<b>3,06</b>	3,00	<b>10,52</b>	4,50	<b>20,22</b>	6,00	<b>31,88</b>
Currais Novos	1,50	<b>4,94</b>	3,00	<b>14,09</b>	4,50	<b>25,14</b>	6,00	<b>37,90</b>
Equador	1,50	<b>6,43</b>	3,00	<b>17,40</b>	4,50	<b>29,64</b>	6,00	<b>43,63</b>
Fernando Pedroza	1,50	<b>4,54</b>	3,00	<b>13,51</b>	4,50	<b>24,35</b>	6,00	<b>36,75</b>
Galinhas	1,50	<b>4,83</b>	3,00	<b>12,33</b>	4,50	<b>21,14</b>	6,00	<b>33,14</b>
Grossos	1,50	<b>5,20</b>	3,00	<b>13,61</b>	4,50	<b>23,70</b>	6,00	<b>35,59</b>
Itajá	1,50	<b>4,64</b>	3,00	<b>13,29</b>	4,50	<b>23,33</b>	6,00	<b>35,14</b>
Janduís	1,50	<b>3,95</b>	3,00	<b>12,07</b>	4,50	<b>21,97</b>	6,00	<b>32,51</b>
Jardim de Piranhas	1,50	<b>4,97</b>	3,00	<b>14,32</b>	4,50	<b>24,82</b>	6,00	<b>35,32</b>
João Câmara	1,50	<b>2,92</b>	3,00	<b>8,99</b>	4,50	<b>17,52</b>	6,00	<b>27,54</b>
Macau	1,50	<b>5,57</b>	3,00	<b>13,84</b>	4,50	<b>25,47</b>	6,00	<b>37,91</b>
Mossoró	1,50	<b>4,54</b>	3,00	<b>12,07</b>	4,50	<b>21,07</b>	6,00	<b>32,27</b>
Natal	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>2,82</b>	4,50	<b>7,32</b>	6,00	<b>14,00</b>
Nísia Floresta	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>2,38</b>	4,50	<b>7,24</b>	6,00	<b>13,63</b>
Paraná	1,50	<b>3,43</b>	3,00	<b>11,15</b>	4,50	<b>21,06</b>	6,00	<b>31,56</b>
Parazinho	1,50	<b>3,40</b>	3,00	<b>10,27</b>	4,50	<b>18,28</b>	6,00	<b>28,24</b>

Continua

Continuação

<b>Cidade</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>
Passa e Fica	1,50	<b>2,02</b>	3,00	<b>7,63</b>	4,50	<b>15,00</b>	6,00	<b>24,32</b>
Pau dos Ferros	1,50	<b>4,03</b>	3,00	<b>12,07</b>	4,50	<b>22,57</b>	6,00	<b>33,07</b>
Pedra Preta	1,50	<b>4,76</b>	3,00	<b>12,55</b>	4,50	<b>23,91</b>	6,00	<b>37,57</b>
Pedro Velho	1,50	<b>0,48</b>	3,00	<b>4,39</b>	4,50	<b>10,12</b>	6,00	<b>17,16</b>
Pendências	1,50	<b>5,37</b>	3,00	<b>13,60</b>	4,50	<b>24,96</b>	6,00	<b>36,96</b>
Pilões	1,50	<b>4,60</b>	3,00	<b>12,96</b>	4,50	<b>23,46</b>	6,00	<b>33,96</b>
Portalegre	1,50	<b>3,86</b>	3,00	<b>11,11</b>	4,50	<b>20,11</b>	6,00	<b>30,56</b>
Rafael Godeiro	1,50	<b>4,04</b>	3,00	<b>11,81</b>	4,50	<b>21,37</b>	6,00	<b>31,87</b>
Riacho de Santana	1,50	<b>3,63</b>	3,00	<b>11,16</b>	4,50	<b>21,20</b>	6,00	<b>31,70</b>
Santa Maria	1,50	<b>2,99</b>	3,00	<b>9,01</b>	4,50	<b>17,92</b>	6,00	<b>28,30</b>
Santana do Matos	1,50	<b>4,30</b>	3,00	<b>13,24</b>	4,50	<b>23,74</b>	6,00	<b>34,84</b>
São José do Seridó	1,50	<b>4,69</b>	3,00	<b>13,69</b>	4,50	<b>24,19</b>	6,00	<b>36,19</b>
São Tomé	1,50	<b>5,47</b>	3,00	<b>13,71</b>	4,50	<b>25,22</b>	6,00	<b>39,69</b>
Serra do Mel	1,50	<b>5,05</b>	3,00	<b>12,81</b>	4,50	<b>22,85</b>	6,00	<b>34,85</b>
Serrinha	1,50	<b>2,28</b>	3,00	<b>8,28</b>	4,50	<b>16,36</b>	6,00	<b>26,29</b>
Taipu	1,50	<b>2,30</b>	3,00	<b>7,94</b>	4,50	<b>14,32</b>	6,00	<b>23,22</b>
Tangará	1,50	<b>3,14</b>	3,00	<b>10,22</b>	4,50	<b>20,21</b>	6,00	<b>35,19</b>
Tibau	1,50	<b>5,11</b>	3,00	<b>14,15</b>	4,50	<b>24,65</b>	6,00	<b>35,54</b>
Tibau do Sul	1,50	<b>0,12</b>	3,00	<b>3,84</b>	4,50	<b>9,21</b>	6,00	<b>16,03</b>
Touros	1,50	<b>1,24</b>	3,00	<b>6,22</b>	4,50	<b>13,21</b>	6,00	<b>21,87</b>
Venha Ver	1,50	<b>3,29</b>	3,00	<b>10,49</b>	4,50	<b>19,78</b>	6,00	<b>30,28</b>
Vera Cruz	1,50	<b>1,73</b>	3,00	<b>7,19</b>	4,50	<b>14,10</b>	6,00	<b>23,29</b>
Governador Dix Sept Rosado	1,50	<b>4,49</b>	3,00	<b>12,29</b>	4,50	<b>21,79</b>	6,00	<b>32,65</b>
São João do Sabugi	1,50	<b>4,84</b>	3,00	<b>13,91</b>	4,50	<b>24,41</b>	6,00	<b>34,96</b>
Florânia	1,50	<b>4,16</b>	3,00	<b>13,26</b>	4,50	<b>23,76</b>	6,00	<b>34,61</b>
Baraúna	1,50	<b>4,65</b>	3,00	<b>12,75</b>	4,50	<b>21,75</b>	6,00	<b>33,51</b>

**Tabela A-3.** Volumes obtidos para área de telhado=150 m<sup>2</sup>. Em que D é a demanda mensal em m<sup>3</sup>.mês<sup>-1</sup> e V é o volume da cisterna em m<sup>3</sup>.

<b>Cidade</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>
Afonso Bezerra	1,50	<b>4,61</b>	3,00	<b>12,10</b>	4,50	<b>21,38</b>	6,00	<b>31,88</b>
Apodi	1,50	<b>3,55</b>	3,00	<b>10,12</b>	4,50	<b>18,10</b>	6,00	<b>27,10</b>
Assu	1,50	<b>3,16</b>	3,00	<b>9,96</b>	4,50	<b>18,76</b>	6,00	<b>28,31</b>
Baia Formosa	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>0,99</b>	4,50	<b>4,60</b>	6,00	<b>9,26</b>
Bodó	1,50	<b>3,14</b>	3,00	<b>10,43</b>	4,50	<b>18,58</b>	6,00	<b>28,62</b>
Caiçara do Norte	1,50	<b>3,61</b>	3,00	<b>11,11</b>	4,50	<b>18,61</b>	6,00	<b>26,30</b>
Caicó	1,50	<b>3,65</b>	3,00	<b>10,32</b>	4,50	<b>19,39</b>	6,00	<b>29,89</b>
Caraúbas	1,50	<b>3,53</b>	3,00	<b>9,84</b>	4,50	<b>17,83</b>	6,00	<b>26,83</b>
Coronel Ezequiel	1,50	<b>2,34</b>	3,00	<b>8,28</b>	4,50	<b>15,78</b>	6,00	<b>25,08</b>
Currais Novos	1,50	<b>3,89</b>	3,00	<b>11,52</b>	4,50	<b>21,14</b>	6,00	<b>31,71</b>

Continua

Continuação

<b>Cidade</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>
Equador	1,50	<b>5,26</b>	3,00	<b>14,89</b>	4,50	<b>26,10</b>	6,00	<b>38,10</b>
Fernando Pedroza	1,50	<b>3,47</b>	3,00	<b>10,55</b>	4,50	<b>20,26</b>	6,00	<b>30,76</b>
Galinhos	1,50	<b>3,52</b>	3,00	<b>11,00</b>	4,50	<b>18,50</b>	6,00	<b>26,33</b>
Grossos	1,50	<b>4,22</b>	3,00	<b>11,56</b>	4,50	<b>20,41</b>	6,00	<b>30,30</b>
Itajá	1,50	<b>3,77</b>	3,00	<b>10,94</b>	4,50	<b>19,94</b>	6,00	<b>29,74</b>
Janduís	1,50	<b>2,93</b>	3,00	<b>9,30</b>	4,50	<b>18,10</b>	6,00	<b>27,71</b>
Jardim de Piranhas	1,50	<b>3,89</b>	3,00	<b>11,59</b>	4,50	<b>21,48</b>	6,00	<b>31,98</b>
João Câmara	1,50	<b>1,86</b>	3,00	<b>7,37</b>	4,50	<b>13,48</b>	6,00	<b>21,78</b>
Macau	1,50	<b>4,61</b>	3,00	<b>12,11</b>	4,50	<b>20,76</b>	6,00	<b>32,20</b>
Mossoró	1,50	<b>3,80</b>	3,00	<b>10,49</b>	4,50	<b>18,10</b>	6,00	<b>27,10</b>
Natal	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>0,68</b>	4,50	<b>4,23</b>	6,00	<b>8,73</b>
Nísia Floresta	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>0,57</b>	4,50	<b>3,57</b>	6,00	<b>7,89</b>
Paraná	1,50	<b>2,14</b>	3,00	<b>8,14</b>	4,50	<b>16,73</b>	6,00	<b>26,33</b>
Parazinho	1,50	<b>2,20</b>	3,00	<b>8,10</b>	4,50	<b>15,41</b>	6,00	<b>22,91</b>
Passa e Fica	1,50	<b>1,02</b>	3,00	<b>5,44</b>	4,50	<b>11,44</b>	6,00	<b>18,24</b>
Pau dos Ferros	1,50	<b>3,04</b>	3,00	<b>9,06</b>	4,50	<b>18,11</b>	6,00	<b>28,61</b>
Pedra Preta	1,50	<b>3,63</b>	3,00	<b>10,90</b>	4,50	<b>18,83</b>	6,00	<b>29,87</b>
Pedro Velho	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>2,08</b>	4,50	<b>6,58</b>	6,00	<b>12,18</b>
Pendências	1,50	<b>4,37</b>	3,00	<b>11,81</b>	4,50	<b>20,40</b>	6,00	<b>31,44</b>
Pilões	1,50	<b>3,90</b>	3,00	<b>10,35</b>	4,50	<b>19,43</b>	6,00	<b>29,93</b>
Portalegre	1,50	<b>2,79</b>	3,00	<b>8,79</b>	4,50	<b>16,66</b>	6,00	<b>25,66</b>
Rafael Godeiro	1,50	<b>3,05</b>	3,00	<b>9,07</b>	4,50	<b>17,71</b>	6,00	<b>26,81</b>
Riacho de Santana	1,50	<b>2,44</b>	3,00	<b>8,49</b>	4,50	<b>16,74</b>	6,00	<b>26,55</b>
Santa Maria	1,50	<b>2,03</b>	3,00	<b>7,49</b>	4,50	<b>13,51</b>	6,00	<b>22,38</b>
Santana do Matos	1,50	<b>3,45</b>	3,00	<b>10,54</b>	4,50	<b>19,86</b>	6,00	<b>30,36</b>
São José do Seridó	1,50	<b>4,02</b>	3,00	<b>10,78</b>	4,50	<b>20,53</b>	6,00	<b>31,03</b>
São Tomé	1,50	<b>4,56</b>	3,00	<b>11,96</b>	4,50	<b>20,56</b>	6,00	<b>31,28</b>
Serra do Mel	1,50	<b>4,49</b>	3,00	<b>11,32</b>	4,50	<b>19,21</b>	6,00	<b>28,58</b>
Serrinha	1,50	<b>1,38</b>	3,00	<b>6,42</b>	4,50	<b>12,42</b>	6,00	<b>20,04</b>
Taipu	1,50	<b>1,30</b>	3,00	<b>5,90</b>	4,50	<b>11,90</b>	6,00	<b>17,90</b>
Tangará	1,50	<b>2,08</b>	3,00	<b>7,77</b>	4,50	<b>15,33</b>	6,00	<b>24,33</b>
Tibau	1,50	<b>3,92</b>	3,00	<b>12,17</b>	4,50	<b>21,22</b>	6,00	<b>31,72</b>
Tibau do Sul	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>1,63</b>	4,50	<b>5,76</b>	6,00	<b>10,82</b>
Touros	1,50	<b>0,41</b>	3,00	<b>4,06</b>	4,50	<b>9,33</b>	6,00	<b>16,07</b>
Venha Ver	1,50	<b>1,93</b>	3,00	<b>7,93</b>	4,50	<b>15,73</b>	6,00	<b>24,73</b>
Vera Cruz	1,50	<b>0,97</b>	3,00	<b>4,84</b>	4,50	<b>10,79</b>	6,00	<b>17,12</b>
Governador Dix Sept Rosado	1,50	<b>3,73</b>	3,00	<b>9,80</b>	4,50	<b>18,43</b>	6,00	<b>27,44</b>
São João do Sabugi	1,50	<b>3,79</b>	3,00	<b>11,01</b>	4,50	<b>20,86</b>	6,00	<b>31,36</b>
Florânia	1,50	<b>3,22</b>	3,00	<b>10,29</b>	4,50	<b>19,89</b>	6,00	<b>30,39</b>
Baraúna	1,50	<b>3,40</b>	3,00	<b>10,73</b>	4,50	<b>19,12</b>	6,00	<b>28,12</b>

**Tabela A-4.** Volumes obtidos para área de telhado=200 m<sup>2</sup>. Em que D é a demanda mensal em m<sup>3</sup>.mês<sup>-1</sup> e V é o volume da cisterna em m<sup>3</sup>.

<b>Cidade</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>
Afonso Bezerra	1,50	<b>4,14</b>	3,00	<b>11,14</b>	4,50	<b>19,04</b>	6,00	<b>28,50</b>
Apodi	1,50	<b>2,91</b>	3,00	<b>8,73</b>	4,50	<b>15,99</b>	6,00	<b>24,13</b>
Assu	1,50	<b>2,33</b>	3,00	<b>8,28</b>	4,50	<b>16,01</b>	6,00	<b>25,01</b>
Baia Formosa	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>0,00</b>	4,50	<b>2,32</b>	6,00	<b>6,14</b>
Bodó	1,50	<b>2,48</b>	3,00	<b>8,91</b>	4,50	<b>16,41</b>	6,00	<b>24,77</b>
Caiçara do Norte	1,50	<b>3,02</b>	3,00	<b>9,81</b>	4,50	<b>17,31</b>	6,00	<b>24,81</b>
Caicó	1,50	<b>2,86</b>	3,00	<b>8,86</b>	4,50	<b>16,26</b>	6,00	<b>25,86</b>
Caraúbas	1,50	<b>2,71</b>	3,00	<b>8,71</b>	4,50	<b>15,62</b>	6,00	<b>23,77</b>
Coronel Ezequiel	1,50	<b>1,62</b>	3,00	<b>6,12</b>	4,50	<b>13,53</b>	6,00	<b>21,03</b>
Currais Novos	1,50	<b>3,19</b>	3,00	<b>9,88</b>	4,50	<b>18,36</b>	6,00	<b>28,19</b>
Equador	1,50	<b>4,51</b>	3,00	<b>12,86</b>	4,50	<b>23,36</b>	6,00	<b>34,79</b>
Fernando Pedroza	1,50	<b>2,63</b>	3,00	<b>9,07</b>	4,50	<b>17,07</b>	6,00	<b>27,02</b>
Galinhas	1,50	<b>2,95</b>	3,00	<b>9,67</b>	4,50	<b>17,17</b>	6,00	<b>24,67</b>
Grossos	1,50	<b>3,63</b>	3,00	<b>10,41</b>	4,50	<b>18,22</b>	6,00	<b>27,22</b>
Itajá	1,50	<b>3,03</b>	3,00	<b>9,29</b>	4,50	<b>17,59</b>	6,00	<b>26,59</b>
Janduís	1,50	<b>1,91</b>	3,00	<b>7,91</b>	4,50	<b>15,14</b>	6,00	<b>24,14</b>
Jardim de Piranhas	1,50	<b>3,19</b>	3,00	<b>9,93</b>	4,50	<b>18,45</b>	6,00	<b>28,65</b>
João Câmara	1,50	<b>1,33</b>	3,00	<b>5,83</b>	4,50	<b>11,83</b>	6,00	<b>17,97</b>
Macau	1,50	<b>3,65</b>	3,00	<b>11,15</b>	4,50	<b>18,65</b>	6,00	<b>27,68</b>
Mossoró	1,50	<b>3,15</b>	3,00	<b>9,07</b>	4,50	<b>16,49</b>	6,00	<b>24,13</b>
Natal	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>0,00</b>	4,50	<b>1,90</b>	6,00	<b>5,64</b>
Nísia Floresta	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>0,00</b>	4,50	<b>1,77</b>	6,00	<b>4,77</b>
Paraná	1,50	<b>1,08</b>	3,00	<b>6,85</b>	4,50	<b>13,30</b>	6,00	<b>22,30</b>
Parazinho	1,50	<b>1,52</b>	3,00	<b>6,80</b>	4,50	<b>13,05</b>	6,00	<b>20,55</b>
Passa e Fica	1,50	<b>0,43</b>	3,00	<b>4,03</b>	4,50	<b>9,26</b>	6,00	<b>15,26</b>
Pau dos Ferros	1,50	<b>2,16</b>	3,00	<b>8,06</b>	4,50	<b>15,09</b>	6,00	<b>24,15</b>
Pedra Preta	1,50	<b>2,99</b>	3,00	<b>9,53</b>	4,50	<b>17,03</b>	6,00	<b>25,10</b>
Pedro Velho	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>0,96</b>	4,50	<b>4,27</b>	6,00	<b>8,77</b>
Pendências	1,50	<b>3,82</b>	3,00	<b>10,74</b>	4,50	<b>18,24</b>	6,00	<b>27,20</b>
Pilões	1,50	<b>3,20</b>	3,00	<b>9,20</b>	4,50	<b>16,80</b>	6,00	<b>25,91</b>
Portalegre	1,50	<b>1,86</b>	3,00	<b>7,72</b>	4,50	<b>13,84</b>	6,00	<b>22,22</b>
Rafael Godeiro	1,50	<b>2,07</b>	3,00	<b>8,07</b>	4,50	<b>14,62</b>	6,00	<b>23,62</b>
Riacho de Santana	1,50	<b>1,25</b>	3,00	<b>7,25</b>	4,50	<b>13,82</b>	6,00	<b>22,32</b>
Santa Maria	1,50	<b>1,37</b>	3,00	<b>5,98</b>	4,50	<b>11,98</b>	6,00	<b>18,01</b>
Santana do Matos	1,50	<b>2,60</b>	3,00	<b>8,60</b>	4,50	<b>17,06</b>	6,00	<b>26,48</b>
São José do Seridó	1,50	<b>3,35</b>	3,00	<b>9,38</b>	4,50	<b>16,93</b>	6,00	<b>27,38</b>
São Tomé	1,50	<b>4,08</b>	3,00	<b>10,94</b>	4,50	<b>18,44</b>	6,00	<b>27,41</b>
Serra do Mel	1,50	<b>3,99</b>	3,00	<b>10,09</b>	4,50	<b>17,59</b>	6,00	<b>25,61</b>
Serrinha	1,50	<b>0,85</b>	3,00	<b>4,56</b>	4,50	<b>10,56</b>	6,00	<b>16,56</b>

Continua

Continuação

<b>Cidade</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>	<b>D</b>	<b>V</b>
Taipu	1,50	<b>0,73</b>	3,00	<b>4,60</b>	4,50	<b>9,87</b>	6,00	<b>15,87</b>
Tangará	1,50	<b>1,69</b>	3,00	<b>6,29</b>	4,50	<b>12,86</b>	6,00	<b>20,44</b>
Tibau	1,50	<b>3,22</b>	3,00	<b>10,23</b>	4,50	<b>19,23</b>	6,00	<b>28,29</b>
Tibau do Sul	1,50	<b>0,00</b>	3,00	<b>0,24</b>	4,50	<b>3,18</b>	6,00	<b>7,68</b>
Touros	1,50	<b>0,05</b>	3,00	<b>2,47</b>	4,50	<b>6,91</b>	6,00	<b>12,44</b>
Venha Ver	1,50	<b>0,94</b>	3,00	<b>6,57</b>	4,50	<b>12,60</b>	6,00	<b>20,98</b>
Vera Cruz	1,50	<b>0,39</b>	3,00	<b>3,46</b>	4,50	<b>8,39</b>	6,00	<b>14,39</b>
Governador Dix Sept Rosado	1,50	<b>2,97</b>	3,00	<b>8,97</b>	4,50	<b>15,58</b>	6,00	<b>24,58</b>
São João do Sabugi	1,50	<b>3,06</b>	3,00	<b>9,68</b>	4,50	<b>17,48</b>	6,00	<b>27,82</b>
Florânia	1,50	<b>2,29</b>	3,00	<b>8,33</b>	4,50	<b>16,73</b>	6,00	<b>26,52</b>
Baraúna	1,50	<b>2,53</b>	3,00	<b>9,30</b>	4,50	<b>16,80</b>	6,00	<b>25,49</b>

## APÊNDICE B - DIVISÃO DAS CIDADES POR GRUPOS HOMOGÊNEOS

**Tabela 1-B.** Divisão das cidades por grupos homogêneos. Em que Pa é precipitação anual e PCD é o grau de concentração da precipitação.

<b>Grupos</b>	<b>Cidades</b>	<b>Pa</b>	<b>PCD</b>
1	Afonso Bezerra	0,60	0,68
	Assu	0,65	0,63
	Bodó	0,67	0,64
	Caiçara do Norte	0,64	0,62
	Currais Novos	0,54	0,65
	Equador	0,41	0,69
	Fernando Pedroza	0,59	0,65
	Galinhas	0,66	0,62
	Itajá	0,66	0,66
	Macau	0,59	0,69
	São José do Seridó	0,65	0,67
São Tomé	0,47	0,62	
2	Coronel Ezequiel	0,66	0,58
	João Câmara	0,72	0,51
	Parazinho	0,68	0,53
	Pedra Preta	0,51	0,60
	Santa Maria	0,66	0,50
	Serrinha	0,72	0,48
	Tangará	0,52	0,50
3	Baia Formosa	1,41	0,46
	Natal	1,66	0,48
	Nísia Floresta	1,46	0,45
	Tibau do Sul	1,38	0,48
	Touros	1,24	0,53
4	Passa e Fica	0,76	0,46
	Pedro Velho	1,14	0,45
	Vera Cruz	0,89	0,49
	Taipu	1,06	0,52

Continua

Continuação

<b>Grupos</b>	<b>Cidades</b>	<b>Pa</b>	<b>PCD</b>
5	Apodi	0,75	0,65
	Baraúna	0,80	0,67
	Caicó	0,74	0,67
	Caraúbas	0,74	0,63
	Florânia	0,71	0,67
	Governador Dix Sept Rosado	0,73	0,64
	Grossos	0,73	0,70
	Jardim de Piranhas	0,74	0,70
	Pendências	0,65	0,69
	Pilões	0,76	0,68
	Santana do Matos	0,75	0,69
	São João do Sabugi	0,75	0,70
	Serra do Mel	0,70	0,67
Tibau	0,75	0,70	
6	Janduís	0,79	0,66
	Mossoró	0,80	0,66
	Paraná	0,86	0,64
	Pau dos Ferros	0,79	0,66
	Portalegre	0,99	0,66
	Rafael Godeiro	0,83	0,66
	Riacho de Santana	0,87	0,64
	Venha Ver	0,87	0,63