

## XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### **ESTUDO DA INTERFERÊNCIA DO REGIME PLUVIOMÉTRICO NO DIMENSIONAMENTO DE CISTERNA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA: com a análise dos índices PCP e PCD**

*Adelena Gonçalves Maia<sup>1</sup> & Jurema Maria Silva Araújo<sup>2</sup>*

**RESUMO** – Sistemas de aproveitamento de água de chuva têm sido cada vez mais aplicados, por buscar o uso racional da água, com o seu aproveitamento direto da fonte, e o aumento da oferta hídrica. Este trabalho tem como objetivo relacionar como a variabilidade da distribuição temporal da precipitação interfere no dimensionamento das cisternas. Foram realizados estudos em doze localidades do Rio Grande do Norte, sendo utilizados os índices *Precipitation Concentration Degree* (PCD) e *Precipitation Concentration Period* (PCP) para medir a variabilidade temporal da precipitação e o Método da Simulação para o dimensionamento das cisternas, considerando o parâmetro “Atendimento” com valor mínimo de 50%. O trabalho concluiu que a representação gráfica dos índices PCD e PCP foi uma ferramenta capaz de definir regiões homogêneas, em termos de variabilidade de precipitação, na área estudada e que a diferença de regime pluviométrico é altamente relevante no dimensionamento das cisternas, e por conta disto, deve ser considerado no processo de dimensionamento.

**ABSTRACT** – Rainwater use systems have been increasingly applied to seek the rational use of water, with its use direct from the source, and increased water offer. This work aims to relate the variability of the rainfall temporal distribution affects the tank sizing. Studies were conducted in twelve localities of Rio Grande do Norte State (Brazil), the indices being used were *Precipitation Concentration Degree* (PCD) and *Precipitation Concentration Period* (PCP) to measure the temporal variability of precipitation and for tank sizing was used Simulation Method, considering the parameter "Atendimento" with a minimum of 50%. The study concluded that the graphical representation of the indices PCD and PCP was a tool to define homogeneous regions in terms of precipitation variability in the study area and that the difference in distribution rainfall is highly relevant in the design of tanks, and because of this, should be considered in the design process.

**Palavras-Chave** – regime pluviométrico, dimensionamento, reservatório.

---

<sup>1</sup>Professora Adjunta do Curso de Engenharia Ambiental da UFRN. UFRN/CT/LARHISA, Cx. Postal 1524 , Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal – RN; e-mail: adelena@ct.ufrn.br

<sup>2</sup> Mestranda em Engenharia Sanitária e Ambiental. PPGES UFRN/CT/LARHISA, Cx. Postal 1524 , Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal – RN; e-mail: jurema.araujo@hotmail.com

## **1. INTRODUÇÃO**

A coleta e o armazenamento de águas pluviais para uso doméstico, para irrigação, para criação de animais e outras finalidades é uma realidade antiga que tem tido uma crescente aplicação em várias localidades do mundo. O crescimento da população mundial aliado aos usos impróprios da água tem levado a cenários de degradação desse recurso, e, de acordo com May (2004), a disseminação de informações referente ao risco de escassez de água tem aumentado à conscientização da população com relação à utilização da mesma. Sendo assim, sistemas que buscam o uso racional da água são cada vez mais aplicados, como é o caso dos sistemas de aproveitamento de água de chuva.

Os sistemas de aproveitamento de água chuva são formados pela área de captação (área do telhado das residências), os componentes de transporte, o reservatório e o sistema de bombeamento, quando necessário. Para que o sistema de aproveitamento tenha um bom funcionamento é primordial que este seja dimensionado de modo que possa atender satisfatoriamente à demanda, evitando o seu subdimensionamento ou superdimensionamento. O subdimensionamento do reservatório pode causar problemas como o não atendimento adequado da demanda para a qual o sistema foi projetado, causando a insatisfação do usuário do sistema, perda de recurso financeiro, em função do aumento do consumo de água do sistema de abastecimento público, ou mesmo não fornecimento de água para o atendimento de necessidades básicas, como o seu uso para beber e cozinhar. O superdimensionamento do reservatório pode levar a situações em que o reservatório nunca enche, ocasionando o desperdício de recursos financeiros na instalação do sistema.

Métodos empíricos, que se baseiam em dados de precipitação total anual para o dimensionamento de cisternas, têm sido bastante utilizados, inclusive com a indicação de vários destes em norma técnica específica sobre o assunto (ABNT, 2007). Sabe-se que o volume total de água precipitada em uma região não é a única variável que deve ser considerada no dimensionamento de uma cisterna, visto que nem toda a água precipitada é armazenada, em função da limitação do tamanho do reservatório. Sendo assim, assume-se que a distribuição da precipitação ao longo do ano é uma variável a ser considerada no dimensionamento e este trabalho tem como objetivo relacionar como a variabilidade da distribuição temporal da precipitação interfere neste dimensionamento.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

Foram selecionados doze municípios distribuídos no território do estado do Rio Grande do Norte, de modo que através dessa amostra fosse possível verificar como os diferentes regimes

pluviométricos podem interferir no dimensionamento das cisternas. Os municípios escolhidos são: Baía Formosa, Vila Flor, Passa e Fica, Tibau do Sul, Natal, Taipu, Touros, localizadas na mesorregião do leste potiguar, Venha-Ver, Portalegre e Upanema, pertencentes à mesorregião do oeste potiguar e por fim, Fernando Pedroza e Currais Novos, municípios da mesorregião central.

## 2.2 Estudo da variabilidade temporal das precipitações

Os dados de precipitação diárias utilizados neste trabalho foram cedidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) e também disponibilizados pela (ANA, 2011), com série de 48 anos de dados, de 1963 a 2010.

Para a análise da variabilidade temporal das precipitações médias mensais de cada localidade serão utilizados os índices *Precipitation Concentration Degree* (PCD) e o *Precipitation Concentration Period* (PCP), ambos utilizados por Li, et al. (2011). O PCP representa o período (meses), no qual a precipitação está mais concentrada e o PCD representa o grau em que a precipitação total anual é distribuída ao longo dos doze meses. O intervalo do PCD anual varia de 0 a 1, sendo o valor máximo obtido quando a precipitação total anual concentra-se em um mês específico, e o valor mínimo atingido quando a precipitação é distribuída uniformemente ao longo dos meses, durante o ano.

O princípio básico para o cálculo do PCD e do PCP baseia-se no vetor de precipitação total mensal. Os pressupostos podem ser feitos de forma que a precipitação total mensal é uma grandeza vetorial e que a sua direção ao longo de um ano pode ser vista como um círculo (360°). Os cálculos de PCP e PCD são apresentados a seguir:

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

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

$$Ry_i = \sum r_{ij} \cdot \text{cos} \theta_j \quad (3)$$

$$PCP_i = \arctan(Ry_i / Rx_i) \quad (4)$$

$$PCDi = \sqrt{Rx_i^2 + Ry_i^2} / R_i \quad (5)$$

Onde “i” é o ano, e “j” representa o mês (j = 1, 2, ..., 12) em um ano; “r<sub>ij</sub>” representa a precipitação total mensal no mês “j”, e ano “i”, e “θ<sub>j</sub>” é o azimute do mês “j”. PCP<sub>i</sub> representa o período (meses), no qual o total precipitação do ano “i” está concentrado e “PCD<sub>i</sub>” representa o grau em que a precipitação total do ano “i” está concentrada nos 12 meses. No nosso caso

trabalhamos com as precipitações médias mensais de cada estação, logo foi calculado apenas um PCP e um PCD para cada localidade.

A tabela a seguir apresenta a correspondência entre os valores de PCP e o mês ao qual ele corresponde.

Tabela 1 – Meses correspondentes a cada valor de PCP (Fonte: Li, et al., 2011).

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

### 2.3 Dimensionamento da cisterna

O dimensionamento das cisternas foi realizado a partir do método da simulação, apresentado na ABNT (2007). Este método consiste na análise do comportamento de uma cisterna de armazenamento de água de chuva a partir de um processo de simulação da operação dos reservatórios, com base no equacionamento de balanço de massa do reservatório (Equação 6) apresentada a seguir:

$$S(t+1) = S(t) + Va(t) - D \quad (6)$$

Onde: “S (t+1)” é o volume armazenado no início do intervalo “t+1”; “S (t)” é o volume de armazenamento no início do intervalo “t”; “Va (t)” é o volume d’água precipitado aproveitável, durante o intervalo de tempo “t” e “D” é o volume efluente para o atendimento da demanda.

As simulações foram realizadas em intervalos diários de tempo e o fluxograma representativo do programa desenvolvido no Visual Basic aplicado aos objetos do Excel®, para a realização das simulações, é apresentado na Figura 1.

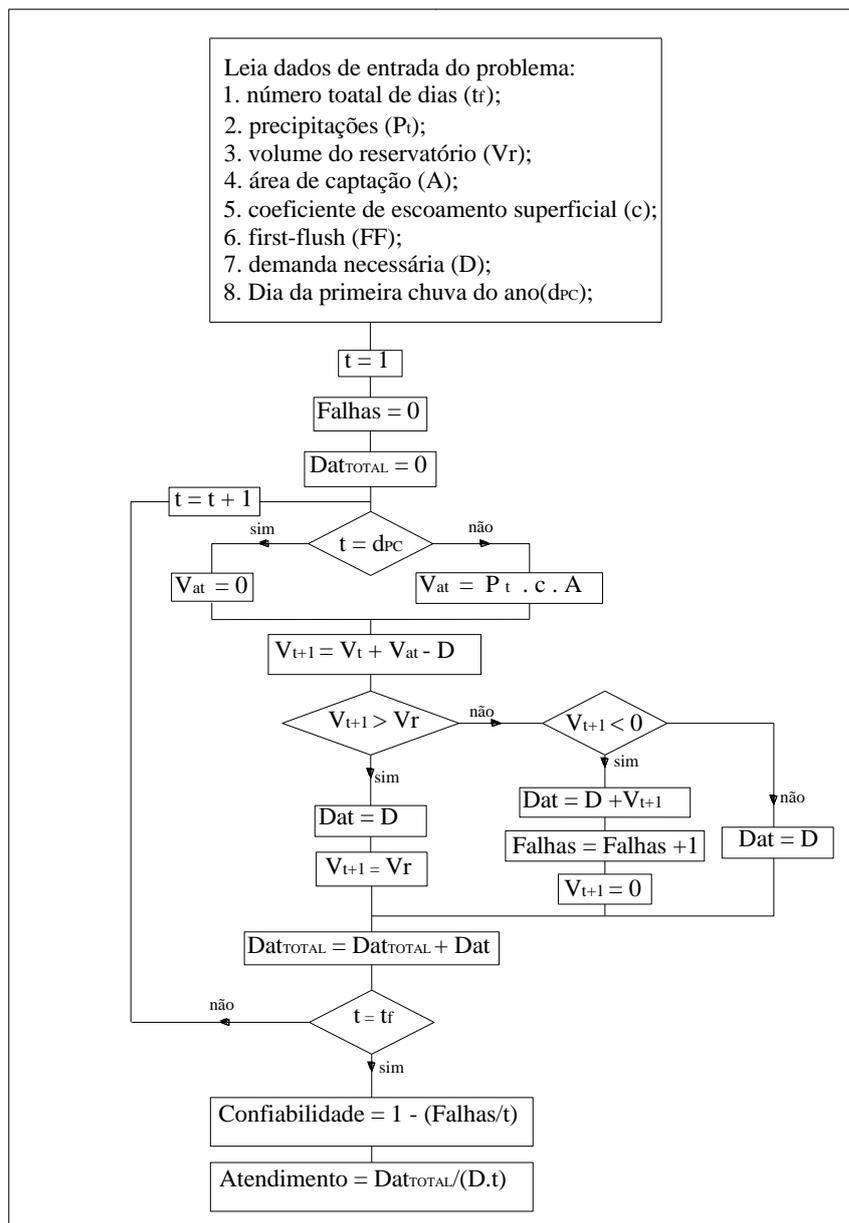


Figura 1 – Fluxograma do programa de simulação da operação do reservatório

As simulações foram realizadas para áreas de telhado com superfícies de 100 m<sup>2</sup>. A demanda padrão de água foi calculada a partir de uma demanda de 100 l.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, considerando 4 habitantes por residência, foi obtida uma demanda de água por residência de 400 l.dia<sup>-1</sup>. No entanto foi considerado que apenas 50% desta demanda seria suprida pelo sistema de aproveitamento de água de chuva, logo a demanda de água da cisterna foi de 200 l.dia<sup>-1</sup> (demanda necessária, D). O coeficiente de escoamento superficial utilizado neste estudo foi de 0,80. O *first-flush*, que é a água precipitada que é descartada para a limpeza do telhado, foi considerado igual à primeira precipitação diária ocorrida no ano, sendo o *first-flush* considerado nulo para as outras precipitações do ano.

Normalmente se utiliza para o Método da Simulação uma confiabilidade mínima de 90%. Este valor é considerado excessivo, principalmente nos casos em que o sistema de aproveitamento de

água de chuva é instalado em área urbana, onde existem outras fontes de água. Sendo assim, para a determinação do valor do melhor parâmetro a ser utilizado para o dimensionamento das cisternas foram realizadas simulações prévias apresentadas a seguir.

### 2.3.1 Adoção do Parâmetro “Atendimento”

Como parâmetro de dimensionamento não foi utilizada a “Confiabilidade” e sim o parâmetro “Atendimento” (figura 1), visto que neste último são considerados os atendimentos parciais da demanda o que não acontece no caso do cálculo da confiabilidade, que contabiliza uma falha do sistema quando a demanda é parcialmente atendida.

Para a determinação do valor do parâmetro “Atendimento” (figura 1) a ser utilizado no dimensionamento das cisternas, pelo Método da Simulação, foi realizado um dimensionamento prévio das cisternas através do método apresentado em Ghisi (2010) que estabelece que o tamanho ideal do reservatório é aquele no qual o percentual de água potável economizada cresce 2% ou menos com o acréscimo da capacidade do reservatório, considerando acréscimos de 1000 l no tamanho do reservatório.

Assim foram dimensionados os reservatórios e obtidos os seguintes tamanhos e respectivo valor do parâmetro atendimento apresentados na tabela 2.

Tabela 2 – Resultados do dimensionamento dos reservatórios pelo método de Ghisi.

Localidade	Reservatório (m <sup>3</sup> )	Atendimento (%)
Natal	2	67,26
Tibau do Sul	2	65,24
Baía Formosa	2	65,92
Vila Flor	2	66,78
Touros	2	55,34
Taipu	3	50,76
Passa e Fica	2	50,52
Upanema	2	39,24
Currais Novos	2	29,84
Fernando Pedroza	2	37,06
Portalegre	2	44,56
Venha-Ver	2	45,90
<b>Média</b>		<b>51,54</b>

Os resultados apresentaram um valor médio de atendimento de cerca de 50% e este será o valor do parâmetro atendimento adotado para o dimensionamento dos reservatórios pelo Método da Simulação. Cabe aqui explicar porque será utilizado um outro método de dimensionamento para a

verificação da influência da variabilidade da precipitação no dimensionamento de cisterna. O método proposto por Ghisi se embasa no dimensionamento do reservatório a partir da análise do ganho que o acréscimo no tamanho do reservatório traria no valor do parâmetro atendimento. Apesar de quase todas as localidades terem cisternas dimensionadas com volumes de 2 m<sup>3</sup> os valores dos atendimentos que estas cisternas proporcionam são diferentes. Desta forma além da variabilidade na precipitação estes resultados apresentam uma outra variável que é o próprio valor do parâmetro de atendimento de cada cisterna, deste modo, para que o atendimento não entre como mais uma variável do problema, foi adotado o valor de 50% para o dimensionamento das cisternas. O dimensionamento final foi realizado utilizando o Método da Simulação, considerando o valor mínimo de 50% de atendimento, com variações de 100 litros no tamanho do reservatório.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Variação temporal da precipitação

A variação da temporal das precipitações das localidades estudadas pode ser analisada através do gráfico apresentado na figura 2.

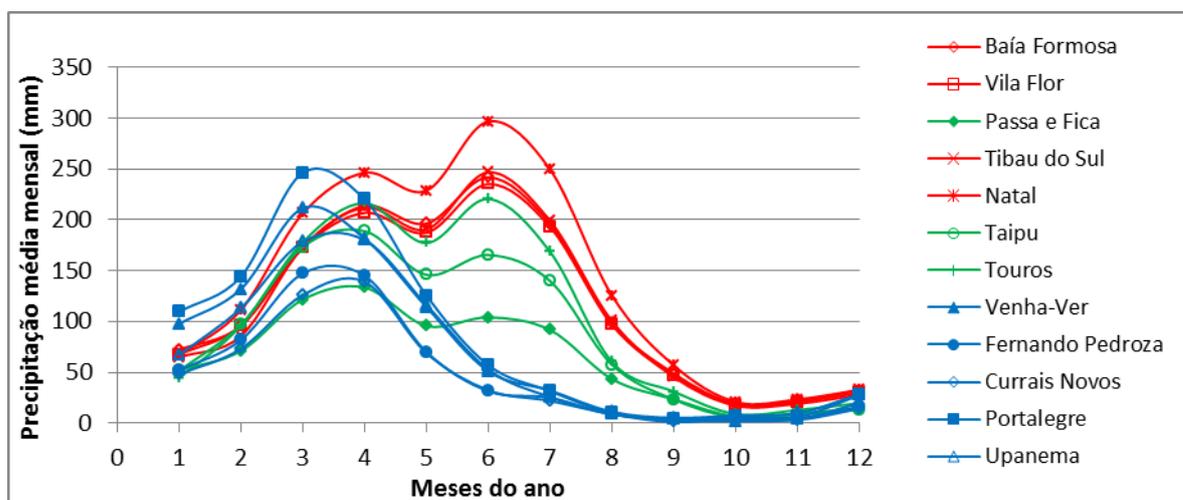


Figura 2 – Variação anual da precipitação das localidades estudadas.

Podemos observar dois padrões de precipitação identificado, no primeiro (em azul) existe apenas um pico de precipitação, de março a abril, com maior concentração da precipitação, e o segundo padrão (em verde e vermelho) tem dois picos de precipitação, nos meses de abril e junho.

A seguir (tabela 3) são apresentados os resultados do PCD e do PCP das localidades estudadas. Através da Figura 3, pode-se visualizar os resultados do PCD (tamanho do vetor) e do PCP (direção do vetor) e a semelhança que existe nos resultados destes valores para algumas destas localidades. O vetores de Natal, Tibau do Sul, Baía Formosa e Vila Flor (em vermelho) se encontram

no 2º quadrante (2º quadrimestre), com concentração das precipitações nos meses de Maio a Junho (olhar Tabela 1), e com menores valores de PCP, ou seja melhor distribuição da precipitação ao longo do ano. Para Touros, Taipu e Passa e Fica (em verde) as precipitações se concentram entre Abril e Maio com boa distribuição da precipitação ao longo do ano. Já as localidades de Upanema, Currais Novos, Fernando Pedroza, Portalegre e Venha-Ver (em vermelho) têm a concentração da precipitação no período de março a abril e as piores distribuições de precipitação ao longo do ano. Percebe-se que o índice PCP não foi capaz de indicar os padrões de precipitação apresentados na Figura 2, no entanto a representação gráfica dos resultados de PCP e PCD (figura 3) apresenta clara distinção de variação de regime de precipitação dos três grupos identificados.

Tabela 3 – Índices de PCD e PCP da área de estudo.

Localidades	PCD	PCP (°)
Natal	0,48	124,5
Tibau do Sul	0,48	122,8
Baía Formosa	0,46	120,9
Vila Flor	0,46	120,8
Touros	0,53	114,9
Taipu	0,52	108,8
Passa e Fica	0,46	104,2
Upanema	0,66	74,8
Currais Novos	0,65	74,3
Fernando Pedroza	0,65	72,4
Portalegre	0,66	69,3
Venha-Ver	0,63	68,7

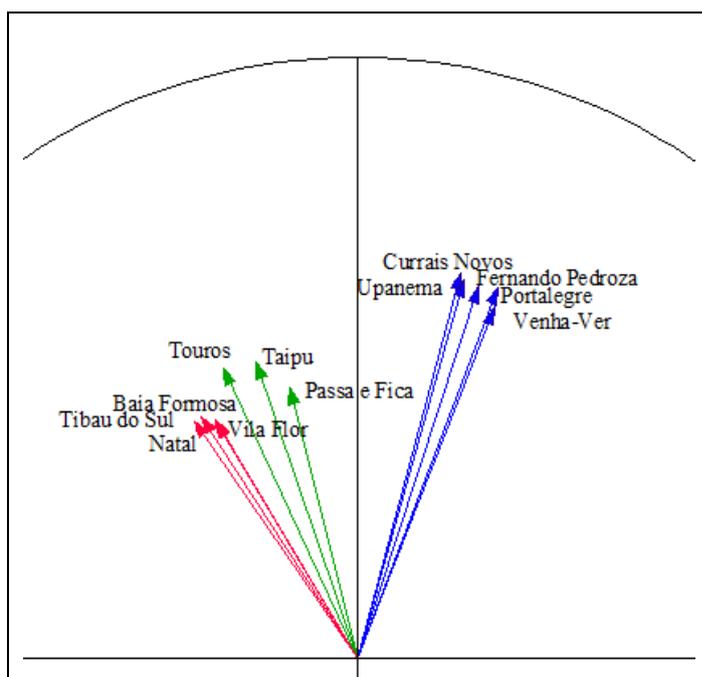


Figura 3 – Representação gráfica dos índices PCD e PCP

### 3.2 Dimensionamento das cisternas

Os resultados do dimensionamento das cisternas são apresentados a seguir (tabela 4). Na figura 4 é apresentada a relação entre o tamanho do reservatório e a precipitação anual das regiões estudadas. Com a análise do gráfico apresentado na figura 4 podemos, preliminarmente, identificar uma relação entre os valores dos tamanhos das cisternas e a precipitação anual das localidades, mas se observarmos com maior cuidado verificaremos que a precipitação total anual não é o único fator a interferir neste dimensionamento. Por exemplo, Passa e Fica e Upanema apresentam quase o mesmo valor de precipitação anual, no entanto Upanema teve um reservatório dimensionado com um valor mais de quatro vezes maior do que o reservatório de Passa e Fica. Por conta de Upanema apresentar pior distribuição de precipitação ao longo do ano, observar o valor de PCD na Tabela 3.

Tabela 4 – Valores do tamanho de cisterna e precipitação anual.

Localidade	Reservatório (m <sup>3</sup> )	Prec. Anual (mm)
Natal	0,4	1664
Timbau do Sul	0,5	1382
Baía Formosa	0,5	1410
Vila Flor	0,4	1371
Touros	1,3	1234
Taipu	3,1	1070
Passa e Fica	2,0	767
Upanema	8,7	772
Currais Novos	19,5	542
Fernando Pedroza	12,3	590
Portalegre	4,3	987
Venha Ver	3,7	882

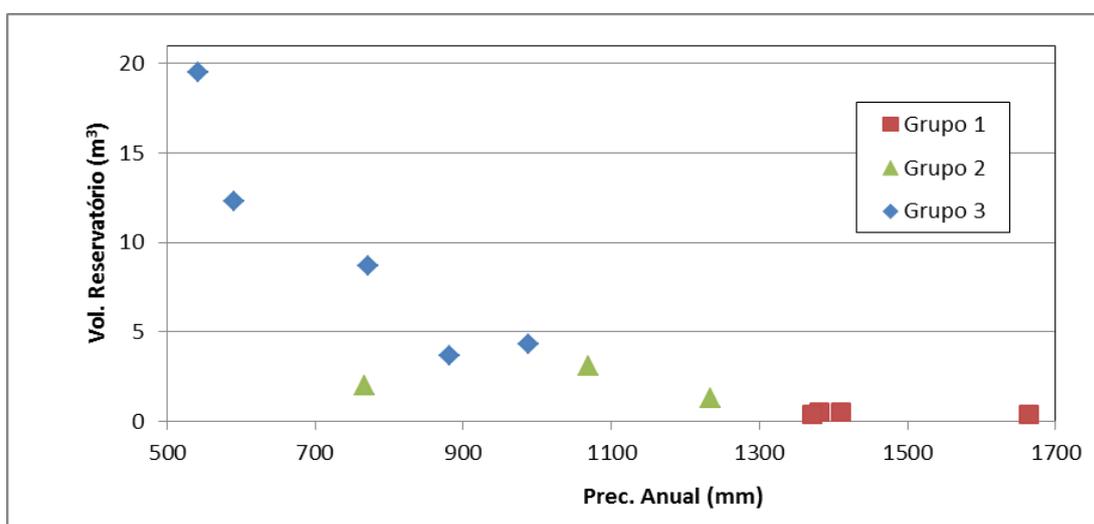


Figura 4 – Relação entre tamanho da cisterna e precipitação anual

### 3.3 Regime pluviométrico x Tamanho da cisterna

A seguir são apresentados os resultados finais onde se procura encontrar padrões de tamanho de reservatório, frente à variabilidade de precipitação, para tanto foi necessário considerar que o tamanho da cisterna dimensionada é função não só da distribuição da precipitação, medida pelo PCD, como do total precipitado. Na figura 5 é apresentado um gráfico que relaciona o valor de PCD com a relação volume captável/tamanho do reservatório, sendo este volume captável o valor da precipitação total anual multiplicado pela área de captação ( $100 \text{ m}^2$ ).

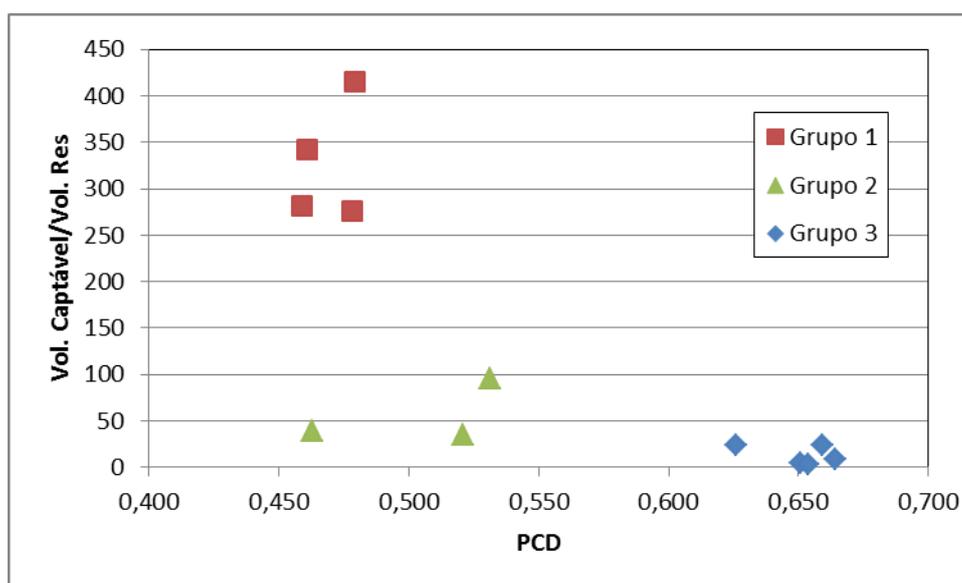


Figura 5 – Relação entre PCD e Volume captável/Vol. Reservatório

Estes resultados mostram claramente os três grupos identificados previamente no gráfico da Figura 3. Para o grupo 1, devido à melhor distribuição da precipitação (menor PCP) e elevada precipitação anual, os valores das cisternas dimensionadas foram menores. Já para o grupo 2 houve um aumento do tamanho do reservatório dimensionado devido à diminuição da precipitação anual e ao aumento de PCD (distribuição menos homogênea da precipitação). Deve-se observar que o grupo 2 ainda poderia ter sido desmembrado em dois grupos, com a separação de Passa e Fica, que apresenta comportamento intermediário, entre o grupo 1 e 2. No grupo 3 são observados dois comportamentos distintos, Portalegre e Venha Ver por apresentarem maior precipitação anual (800 a 1000 mm) tiveram reservatórios dimensionados com menores volumes (de 3 a  $5 \text{ m}^3$ ), já Upanema, Fernando Pedroza e Currais Novos, que têm precipitação anual de 500 a 800 mm, tiveram reservatório dimensionados nos tamanhos de 8 a  $20 \text{ m}^3$ ; no entanto apesar desta diferenças estas cinco localidades apresentaram semelhantes valores de Volume captável/volume do reservatório.

A figura 6 apresenta a localização das regiões estudadas e verifica-se uma relação entre a localização destas cidades e o agrupamento que foi realizado com base na resposta de cada localidade para o dimensionamento da cisterna, frente às características dos seus regimes pluviométricos.

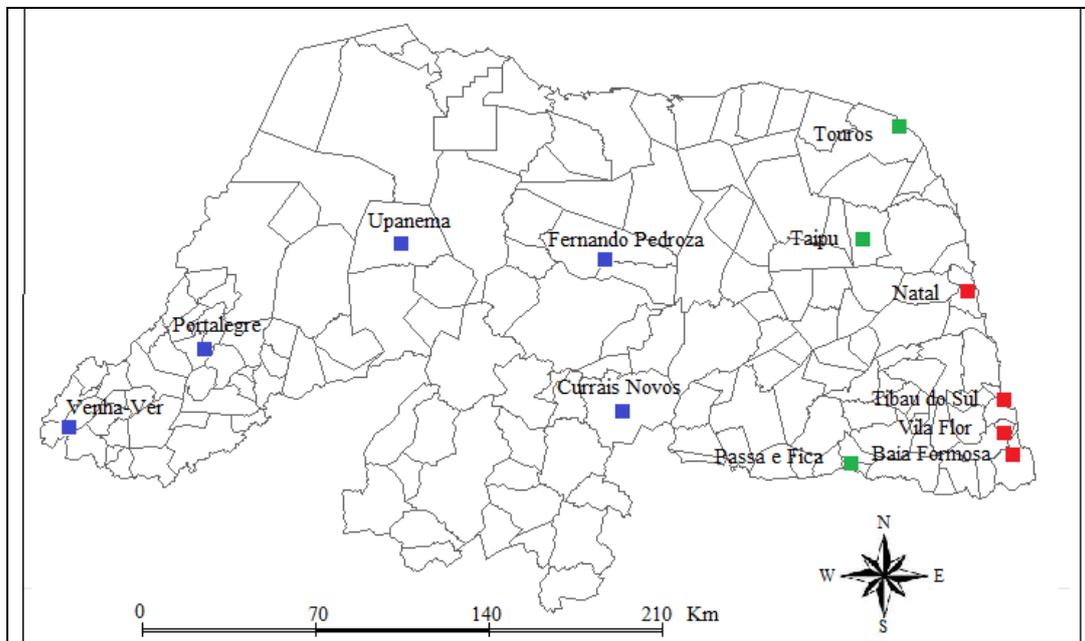


Figura 6 – Localização dos municípios estudados

#### 4. CONCLUSÕES

O uso de métodos que se baseiam no balanço de massa de reservatório para o dimensionamento de cisternas, deve ser feito de forma bastante criteriosa, no que diz respeito à escolha do parâmetro que será utilizado para o dimensionamento e no seu valor limite. Estas escolhas devem ser feitas com base no uso que se fará desta água e na dependência que o usuário terá do sistema de aproveitamento de água de chuva.

O trabalho concluiu que a representação gráfica dos índices PCD e PCP foi uma ferramenta capaz de definir regiões homogêneas, em termos de variabilidade de precipitação, na área estudada. No entanto o PCP não é capaz de identificar diferentes padrões de precipitação, quando ao longo do ano existe mais de um pico de precipitação média mensal.

Não só o valor da precipitação total anual é relevante para o dimensionamento de cisternas, como a variabilidade desta precipitação ao longo do ano. Sendo assim, devido à facilidade do uso de ferramentas computacionais para o dimensionamento de cisternas a partir de metodologias que se baseiam no balanço de massa de reservatórios, não se justifica o uso de métodos empírico que se baseiam apenas no valor de precipitação média anual para o dimensionamento das cisternas.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem o apoio da CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - pela concessão da bolsa de Mestrado da segunda autora. Agradecemos também à Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) pelo fornecimento dos dados de precipitação.

## BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. *Hidroweb*. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>  
Acesso em: 10 mai. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15527: água de chuva: aproveitamento de coberturas em para fins não potáveis: requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

GHISI, E.. Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses. *Water Resources Management* 24: 2381-2403, 2010.

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

MAY, S. (2004) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. Dissertação (Mestrado). São Paulo; 159p.