

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DIEGO HENRIQUE DE SOUZA OLIVEIRA

Avaliação dos diferentes métodos de dimensionamento de cisternas aplicado ao regime pluviométrico do município de Delmiro Gouveia - AL

Delmiro Gouveia
2017

DIEGO HENRIQUE DE SOUZA OLIVEIRA

Avaliação dos diferentes métodos de dimensionamento de cisternas aplicado ao regime pluviométrico do município de Delmiro Gouveia - AL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Msc. Thiago Alberto Pereira da Silva

Delmiro Gouveia

2017

S582a Souza, Diego Henrique de

Avaliação dos diferentes métodos de dimensionamento de cisternas aplicado ao regime pluviométrico do município de Delmiro Gouveia - AL / Diego Henrique de Souza Oliveira. – 2017.

61f.: il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

Orientação: Prof. Msc. Thiago Alberto Pereira da Silva.

1. Cisternas – dimensionamento 2. Regime Pluviométrico.
I. Título. II. Delmiro Gouveia

CDU 556.15 (813.5) 005

Folha de Aprovação

AUTOR: DIEGO HENRIQUE DE SOUZA OLIVEIRA

Avaliação dos diferentes métodos de dimensionamento de cisternas aplicado ao regime pluviométrico do município de Delmiro Gouveia - Al

Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, em 14 de junho de 2017.

Banca Examinadora:



Prof. Msc. Thiago Alberto Pereira da Silva (Orientador)

Universidade Federal de Alagoas



Prof. Dr. Antônio Pedro de Oliveira Neto

Universidade Federal de Alagoas



Eng. Msc. Anamália Ferreira da Silva

DEDICATÓRIA

Ao meu avô Eraldo Assis Oliveira (in memoriam) por sempre me apoiar, incentivar, me fazer um homem justo e correto, através de toda sua sabedoria e experiência.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a minha mãe Rosenilda Cavalcanti de Souza por todo carinho, amor e dedicação que me deu ao longo de toda a vida, sempre tentando fazer tudo que estava ao seu alcance para que seus filhos se tornassem homens dignos e de caráter.

Ao meu pai Clodoaldo Assis de Oliveira por todo apoio que me deu durante toda essa jornada até aqui, tornando possível a realização deste sonho de me tornar engenheiro civil.

Aos meus padrinhos Israel Bezerra, Rosângela Bezerra e Erika Patrícia por toda dedicação que me deram ao longo de toda minha vida.

A todos os meus familiares e amigos que sempre estiveram comigo, torcendo pelo meu sucesso, em especial meu irmão Diogo Michel que esteve comigo ao longo de toda essa jornada acadêmica.

A todos os professores e colegas de graduação que colaboram com o desenvolvimento da minha formação.

Agradeço em especial ao meu orientador Prof. Msc. Thiago Alberto Pereira da Silva, pela dedicação, atenção, e compreensão para que fosse possível a construção deste trabalho.

RESUMO

A busca por alternativas de aproveitamento de águas pluviais tem se tornado cada vez mais importante nos dias atuais, essencialmente em regiões como o Semiárido brasileiro, onde as adversidades climáticas da região, provocam longos períodos de estiagem. Nesse sentido, diversas iniciativas para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis têm se desenvolvido nos últimos anos, com destaque para o aproveitamento de água de chuva, através da captação e armazenamento em cisternas. Diante da influência do regime pluviométrico da região, é fundamental avaliar quais métodos de dimensionamento levam a resultados mais confiáveis. Com isso, foram coletados dados hidrológicos do município de Delmiro Gouveia, além de dados estatísticos, das famílias beneficiadas com as cisternas fornecidas pelo programa PIMC (Programa Um Milhão de Cisternas). De posse desses dados, criou-se diversos cenários com variações de área de telhado e número de moradores, de forma que se possa representar de forma mais precisa a realidade local. Com os resultados das diversas combinações de área de telhado e número de moradores, calculou-se o volume necessário para as cisternas, utilizando cada uma das metodologias analisadas. Em seguida foi elaborado um programa computacional, que simula o balanço hídrico diário nas cisternas, ao longo de todo período analisado. Ao final de cada simulação, o programa retorna à quantidade de dias em que a demanda não foi atendida por cada cisterna dimensionada. Dessa forma, foi possível analisar qual método apresenta melhores resultados de confiança. Em virtude da grande iniciativa de implantação de cisternas pelo governo federal, através do PIMC, optou-se em também avaliar a confiança das cisternas de volume único, diante das diversas variações de características apresentadas pelos beneficiários do programa. Como resultado da avaliação, foi definida uma alternativa mais eficiente para o programa, com o uso de cisternas com volumes variados, de acordo com cada faixa de demanda a ser atendida.

PALAVRAS-CHAVE: Cisterna; semiárido; dimensionamento; confiabilidade.

ABSTRACT

The search for alternatives to rainwater harvesting has become increasingly important today, mainly in regions such as the Brazilian semiarid, where climatic adversities in the region cause long periods of drought. In this sense, several initiatives for the development of sustainable technologies have developed in the last years, with emphasis on the use of rainwater, through abstraction and storage in cisterns. Given the influence of the pluviometric regime of the region, it is fundamental to evaluate which sizing methods lead to more reliable results. Thus, hydrological data were collected from the municipality of Delmiro Gouveia, in addition to statistical data, from the families benefiting from the cisterns provided by the P1MC program (One Million Cisterns Program). With this data, several scenarios were created with variations of roof area and number of residents, so that the local reality can be represented more accurately. With the results of the various combinations of roof area and number of dwellers, the volume required for the cisterns was calculated using each of the methodologies analyzed. Then, a computer program was developed, simulating the daily water balance in the cisterns, throughout the analyzed period. At the end of each simulation, the program returns to the number of days when the demand was not met by each dimensioned cistern. In this way, it was possible to analyze which method has the best confidence results. Due to the great initiative of implantation of cisterns by the federal government, through the P1MC, it was also chosen to evaluate the reliability of the cisterns of single volume, given the different variations of characteristics presented by the beneficiaries of the program. As a result of the evaluation, a more efficient alternative was defined for the program, with the use of cisterns with varied volumes, according to each range of demand to be met.

KEYWORDS: Cistern, Semiarid, Sizing, Reliability..

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Oferta de água em nosso planeta.....	13
Figura 2 - Consumo de água por setores	14
Figura 3: Mapa do Semiárido brasileiro	15
Figura 4: Cisterna usada pelo povo Maya	17
Figura 5: Projeto de colheita de água de chuva denominado "121"	18
Figura 6: Jarras para água de chuva	19
Figura 7: As cinco linhas de luta pela água no Semiárido Brasileiro.....	25
Figura 8: Modelo de cisterna com área de captação no telhado	26
Figura 9: Exemplos de alternativas para área de captação (AC).....	27
Figura 10: Filtro para retenção de sedimentos	28
Figura 11: Dispositivo de descarte das primeiras águas.....	29
Figura 12: Classificação de acordo com a localização no terreno.....	30
Figura 13: Cisterna de placas pré-moldadas.....	31
Figura 14: Cisternas de polietileno.....	31
Figura 15: Cisterna-calçadão.....	32
Figura 16: Desenho esquemático da cisterna-calçadão.	32
Figura 17: Construção do meio fio e do piso em placas.....	33
Figura 18: Cisterna-calçadão circular.....	34
Figura 19: Cisterna-enxurrada.....	34
Figura 20: Desenho esquemático de uma Cisterna-enxurrada.	35
Figura 21: Localização do município de Delmiro Gouveia	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Frequência de Manutenção do sistema de captação de águas pluviais.....	21
Tabela 2: Parâmetros de qualidade da água da chuva para usos restritivos não potáveis	22
Tabela 3: Variações da qualidade da água de chuva devido ao sistema de coleta	23
Tabela 4: Padrões de Potabilidade.....	23
Tabela 5: Estudos que apontaram a presença de indicadores de contaminação em amostras de água de chuva	24
Tabela 6: Coeficiente de Runoff.....	27
Tabela 7: Número de moradores <i>versus</i> Área média disponível de captação	49
Tabela 8: Combinações utilizadas para simulações dos reservatórios	49
Tabela 9: Volume das cisternas de acordo com os métodos avaliados	51
Tabela 10: Confiabilidade das cisternas de acordo com os métodos avaliados	52
Tabela 11: Falhas das cisternas por extravasamentos	53
Tabela 12: Métodos mais indicados para cada cenário	54
Tabela 13: Confiabilidade da cisterna do P1MC.....	54
Tabela 14: Cisternas por faixa de demanda <i>versus</i> Cisternas de volume único	56
Tabela 15: Faixas de volume por demanda	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Distribuição de áreas de telhados das 195 cisternas implantadas	48
Gráfico 2: Distribuição de moradores por residência.....	48
Gráfico 3: Curva de permanência dos meses consecutivos com pouca chuva em Delmiro Gouveia.....	50
Gráfico 4: Precipitação média mensal	50
Gráfico 5: Confiabilidade x Área de captação para a cisterna de 16.000 litros	55
Gráfico 6: Confiabilidade de uma cisterna com área de captação de 65m ²	56

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Considerações Iniciais	11
1.2 Objetivo geral	12
1.3 Objetivos específicos	12
1.4 Justificativa.....	12
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 A questão da água.....	13
2.2. O Semiárido	14
2.3 Aproveitamento de águas pluviais.....	17
2.4 Utilização da água de chuva	21
2.5 Alternativas para o Aproveitamento de Água de Chuva	25
2.6 Cisternas para aproveitamento da água de chuva.	26
2.7 Programas sociais voltada para aproveitamento da água de chuva	35
2.8 Métodos de dimensionamento de reservatório	37
3.0 METODOLOGIA.....	42
3.1 Área de estudo	42
3.2 Levantamento de dados	42
3.3 Área de captação <i>versus</i> Número de moradores.....	43
3.4 Dimensionamento do volume das cisternas.....	44
3.5 Método Computacional	44
3.6 Outros Parâmetros e Considerações	45
3.7 Confiabilidade do reservatório	46
3.8 Dimensionamento da área de captação.....	46
3.9 Análise de Confiabilidade das cisternas do P1MC.....	47
3.10 Definição de faixas de volume por demanda.....	47
4.0 RESULTADOS OBTIDOS.....	48
5.0 CONCLUSÕES	57
6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1.0 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A água tem um papel essencial para a vida em nosso planeta, é um fator crucial para a sobrevivência e desenvolvimento para humanidade. Sabe-se que sua disponibilidade muitas vezes é insuficiente em muitas regiões do nosso planeta, um problema que vem se agravando cada vez mais devido à escassez dos recursos hídricos, seja pelo aumento de sua demanda, seu desperdício e da crescente destruição das fontes de água potável devido a poluição gerada pelo crescimento desordenado da nossa sociedade.

O Brasil detém um dos patrimônios hídricos mais importantes do planeta. Possui cerca de 12% de toda água doce superficial e aproximadamente 90% de seu território recebe chuvas abundantes durante o ano, o que favorece a formação de uma extensa e densa rede de rios (GEO BRASIL, 2007).

Em contrapartida, apesar de possuímos este imenso recurso hídrico, nossa distribuição demográfica não nos permite aproveitarmos de todo esse potencial. A maior parte de todo esse recurso encontra-se na região da Amazônia, longe das nossas maiores concentrações populacionais. A situação é mais grave ainda na região do semiárido brasileiro, localizado na região nordeste do país e parte do norte do estado de Minas Gerais. Essa vasta região apresenta um balanço hídrico negativo durante maior parte do ano e onde a variabilidade climática produz eventos extremos que frequentemente resultam em secas e cheias. Isso impõe um grave risco para as atividades econômicas e de subsistência do povo sertanejo.

Em um cenário cada vez mais agravante para o manejo e manutenção dos recursos hídricos, é necessário promover o equilíbrio entre a demanda e a oferta de água através de medidas que promovam o desenvolvimento de técnicas alternativas para o melhor aproveitamento da água, garantindo uma maior eficiência no seu uso e menor impacto ao meio ambiente.

Dentre essas alternativas podemos destacar o aproveitamento da água da chuva, através de sua captação e reservação por meio de cisternas.

1.2 Objetivo geral

- Analisar através de dados de regime pluviométrico da região, os diferentes métodos de dimensionamento de cisternas para o aproveitamento de água da chuva, no intuito de verificar qual metodologia é mais eficaz, tomando como estudo de caso as cisternas do município de Delmiro Gouveia – AL.

1.3 Objetivos específicos

- Avaliar a confiabilidade do abastecimento de água através do sistema de captação de água de chuva, usando cisternas de 16 mil litros fornecida pelo P1MC (Programa Um Milhão de Cisternas) para população do semiárido;
- Estimar faixas de volumes para cisternas do P1MC em função da demanda a ser atendida.

1.4 Justificativa

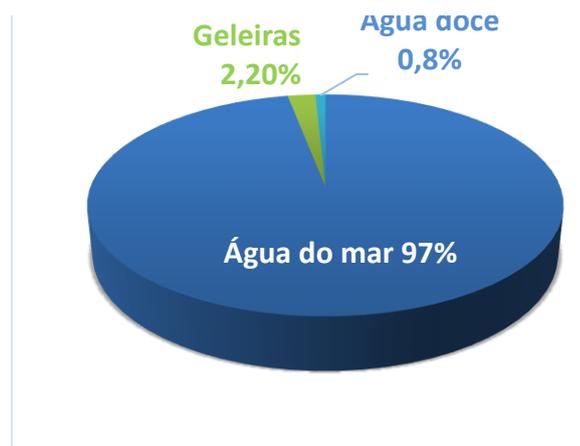
A região do semiárido brasileiro é muito vasta, possui uma área total de 982.563 Km² (SCHISTEK, 2005). Possui grande variabilidade pluviométrica o que leva a necessidade de estudos hidrológicos que caracterize toda região. As cisternas tem sido uma das principais alternativas para abastecimento, principalmente as populações rurais que não tem acesso a sistemas coletivos de abastecimentos. Com a criação do Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), surgiu a necessidade de avaliar os métodos de dimensionamento das cisternas, de maneira que elas possam atender de forma mais eficiente as necessidades da população. Assim, é crucial identificar qual método pode levar a resultados mais satisfatórios que garantam uma relação de oferta e demanda mais eficiente possível, de acordo com as características de regime pluviométrico de cada localidade.

2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A questão da água

A água é uma das mais importantes substâncias presente em nosso planeta. Na forma líquida e sólida cobre mais de dois terços do planeta Terra, e na forma gasosa, é constituinte da atmosfera, estando presente em toda parte. Ela é essencial tanto para os processos vitais como para os físico-químicos. Sem a água não seria possível a vida como conhecemos (REICHARDT, 2012). Apesar de estar presente em enorme quantidade em nosso planeta, sua distribuição não se dar de forma uniforme. Os $1,36 \times 10^{18}$ m³ de água disponível na Terra, se distribuem da seguinte forma, como pode ser visto na Figura 1:

Figura 1 – Oferta de água em nosso planeta



Fonte: SPERLING, 2014 (adaptado)

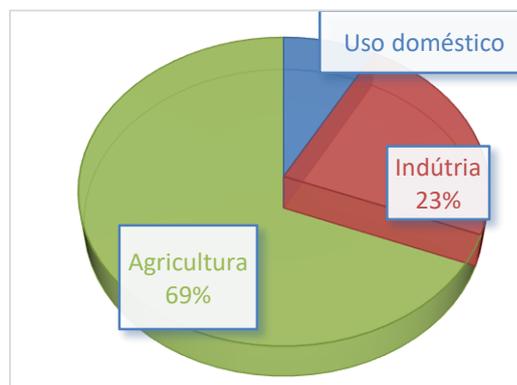
As fontes de água doce representam uma pequena parcela de toda água disponível no planeta, e a cada dia este percentual fica cada vez mais ameaçado devido aos problemas causados pela poluição e mal-uso dos recursos hídricos. A devastação das florestas devido ao crescimento desordenado da agricultura e da pecuária, tem causado a degradação dos mananciais. O crescimento da população induz um aumento na demanda de água, gerando uma redução gradual na qualidade e disponibilidade dos recursos hídricos.

A água é um recurso natural abundante, porém vulnerável. Dessa forma, qualquer modificação no ecossistema pode contribuir para alterar sua quantidade e qualidade em uma determinada região. Nesse aspecto há de se preocupar com seus múltiplos usos. Na maior parte

do planeta, em média, o maior empenho dos recursos hídricos é na agricultura (ver Figura 2). Esta atividade, direta ou indiretamente, contribui de forma intensiva no consumo e degradação dos recursos hídricos. Isso pode dar-se por meio da contaminação dos corpos d'água devido a aplicação de substâncias para fertilização e controle de pragas (RESENDE, 2002).

No que diz respeito ao volume e carga de poluentes lançados nos corpos d'água, o esgoto doméstico é o principal responsável, contribuindo com um esgoto carregado de matéria orgânica em decomposição e uma alta quantidade de microrganismos (LEITE, 2004).

Figura 2 - Consumo de água por setores



Fonte: NEBEL E WRIGHT, 2011 (adaptado)

O Brasil tem enfrentando dificuldades em atender a alta demanda de recursos hídricos. O problema resulta da qualidade da água disponível que tem piorado a cada dia, em grande parte causado pelos lançamentos de efluentes domésticos e industriais. A precariedade da nossa infraestrutura de saneamento é um dos principais responsáveis por este cenário. Segundo dados do SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) em 2015, apenas 50,3% da população é atendida por serviço de coleta de esgoto sanitário, enquanto que apenas 42% do esgoto coletado é tratado.

2.2. O Semiárido

A água é um fator essencial no desenvolvimento econômico de uma região. Em se tratando de escassez hídrica, o problema é maior na região do Semiárido brasileiro (Figura 3). Definida na lei federal nº 7.827, de 27 de setembro de 1989, a região contabiliza 1.135 municípios distribuídos por nove estados: Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e Minas Gerais. Segundo dados do Censo 2010, a região contabiliza uma população total de 22.598.318 habitantes, superior as das regiões Norte e

Centro Oeste do país. A delimitação do Semiárido brasileiro é baseada em três critérios característicos da região (SCHISTEK, 2005a):

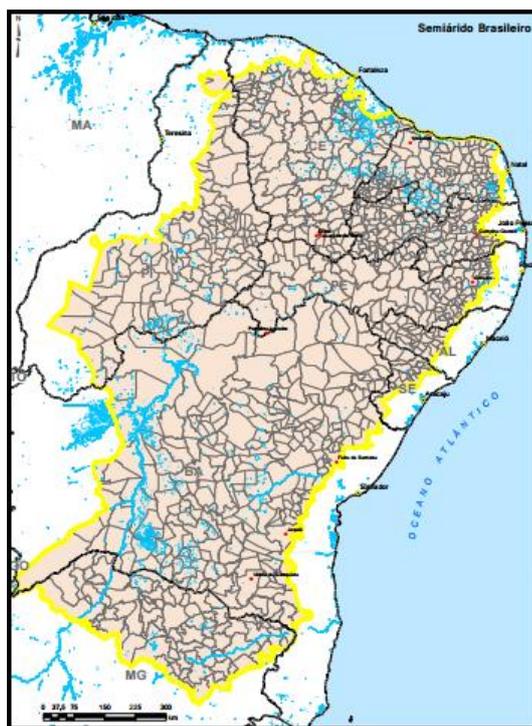
1º - precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros;

2º - índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990;

3º - risco de seca maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990.

Se um destes três critérios ocorrer, então o referido município será considerado pertencente à zona semiárida.

Figura 3: Mapa do Semiárido brasileiro



Fonte: IBGE/mapas, 2007

A região Semiárida brasileira caracteriza-se de modo geral, pela sua deficiência hídrica, com imprevisibilidade das precipitações pluviométricas anuais que variam de 300 mm a 900 mm (com exceção de algumas regiões montanhosas), de forma irregular, que em média se distribui durante três meses. Este intenso escoamento superficial em um curto período de tempo provoca o desperdício de mais 36 bilhões de m³ de água, que correm dos rios para o mar (EMBRAPA, 1984).

Estando geograficamente localizada em uma região de forte insolação, o Semiárido apresenta temperatura médias anuais de 23 a 27° C, umidade relativa do ar média em torno de 50%, resultando em uma alta taxa de evaporação que ultrapassa os 2.000 mm anuais, que por sua vez determina o déficit hídrico durante os períodos de estiagem, dificultando o armazenamento em reservatórios. Em relação geologia da região, apresenta solos pobres em matéria orgânica, e elevadas concentrações de sais. O subsolo é caracterizado pela existência de rochas cristalinas de baixa permeabilidade, o que impede a formação de aquíferos (MOURA, *et al.* 2007).

Sendo considerado a região semiárida mais populosa do planeta, o Semiárido brasileiro tem se tornado cada vez mais urbano. O Crescimento populacional tem se intensificado nas áreas urbanas, enquanto que nas áreas rurais a população tem decrescido, isso se deve à falta investimento no interior dos municípios. A infraestrutura urbana não acompanha o crescimento populacional, resultando serviços precários como fornecimento de água, coleta e tratamento de efluentes e resíduos sólidos.

Desde os tempos do início de sua ocupação, os longos períodos de estiagem já apareciam como o principal empecilho para a exploração e desenvolvimento da região. Com o aumento da densidade populacional, ficou cada vez mais evidente que as soluções implementadas pelo governo para o combate a escassez hídrica, se mostravam ineficazes frente as estiagens prolongadas que causavam situações de calamidade para a população. Era preciso se adequar a dinâmica natural da região e buscar explorar seu potencial hídrico através de tecnologias adequadas para as adversidades da região (SILVA, 2007).

A partir da década de 1980, surgiu uma nova forma de olhar para o desenvolvimento no Semiárido brasileiro. Organizações da sociedade civil e instituições públicas, passaram a desenvolver projetos e pesquisas que possibilitassem o manejo sustentável dos recursos naturais da região, gerando novos referenciais para a convivência com o Semiárido. Foi nesse contexto de gestão de políticas de sustentabilidade que em 1999 foi criado a ASA (Articulação no Semiárido Brasileiro). Através da ASA, cerca de 1.000 organizações atuam na proposição de políticas voltadas para o desenvolvimento sustentável da região, promovendo ações que permitam o acesso de tecnologias, financiamento, assistência técnicas e educação para população do Semiárido brasileiro (MALVEZZI, *et al.* 2010).

2.3 Aproveitamento de águas pluviais

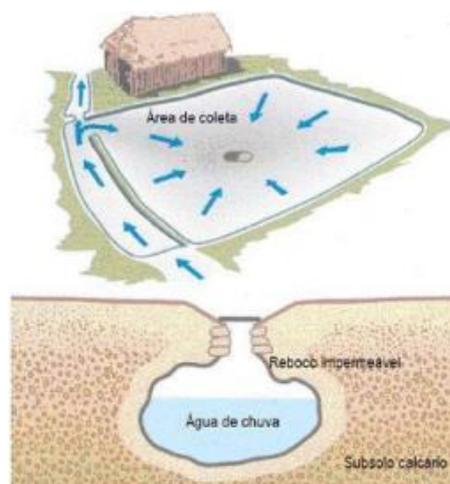
2.3.1 Histórico do consumo de água da chuva

O abastecimento humano sempre foi uma das questões essenciais que qualquer civilização tinha que lidar para garantir a sua sobrevivência, uma vez que o homem depende dela em termos de quantidade e qualidade, tanto para suas necessidades fisiológicas como também para o uso nas mais diversas atividades de seu cotidiano. Por esta razão o homem sempre buscou formas de melhor captar e armazenar este recurso. Todas as principais civilizações da antiguidade se desenvolveram próxima a grandes cursos d'água. Quando este recurso não estava acessível, a água da chuva era a principal alternativa para o abastecimento humano, principalmente nas regiões de maior aridez.

Em diversos lugares do mundo podemos encontrar diferentes técnicas de captação e aproveitamento de água da chuva. Os mais antigos sistemas de armazenamento descoberto pelos pesquisadores datam de cerca de 9000 anos atrás, localizado nas montanhas de Edom na Jordânia (MANSO, 2009).

Na Península de Yucatán onde hoje faz parte do México, o povo Maya utilizava cisternas denominadas Chultuns (ver Figura 4). Eram escavadas no subsolo calcário, suas paredes eram revestidas com reboco impermeabilizante. Tinham um diâmetro de aproximadamente 5 metros, e podia armazenar de 20.000 a 45.000 litros de água. A superfície ao redor da cisterna era construída de forma que direcionasse a água da chuva para dentro da cisterna, possuindo uma área de 100 a 200 m² (DEGHANI-SANIJ; SAYIGH, 2016).

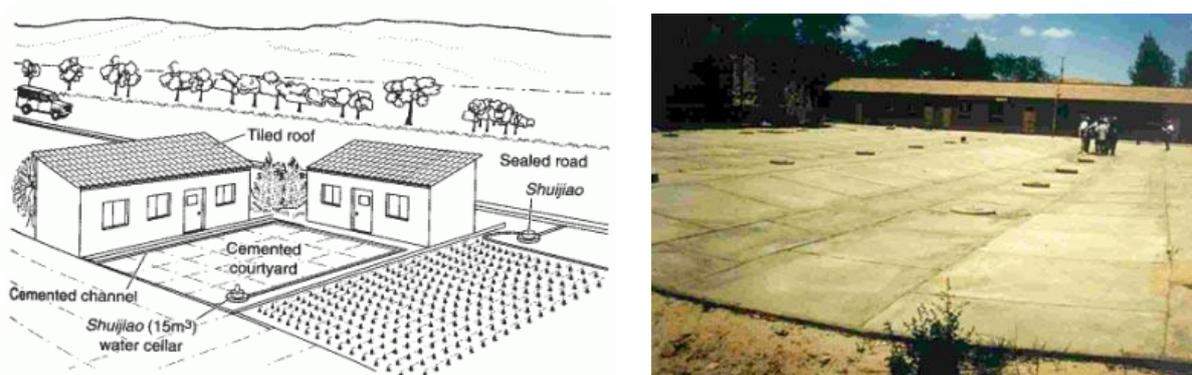
Figura 4: Cisterna usada pelo povo Maya



Fonte: DEGHANI-SANIJ; SAYIGH, 2016

A utilização de águas pluviais é uma técnica milenar empregada na China. Nas regiões áridas e semiáridas do país era comum o emprego de cisternas subterrâneas para armazenamento de água para consumo humano. Na década de 80 pesquisadores da província de Gansu desenvolveram um sistema integrado de manejo de água da chuva para ser empregado em culturas de hortaliças e frutíferas, conhecido como "Agricultura de Colheita de Água de Chuva". Utilizando este mesmo sistema, o governo chinês criou em 1995 o Projeto 1-2-1, que implantava o sistema de captação composto pelo próprio telhado e o pátio da residência (ver Figura 5), captando água para serem armazenados em dois tanques de 20 a 50 m³, um para uso doméstico e outro para irrigação das culturas. Até o final de 2005, mais de 2 milhões de cisternas foram construídas (GNADLINGER, 2001).

Figura 5: Projeto de colheita de água de chuva denominado "121"



Fonte: Zhy e Li (2009)

Para mitigar a crise de água nas regiões semiáridas do país, O governo Tailandês lançou no início da década de 80, o Programa Nacional de Jarras de Água Potável (PNJAP), com o objetivo de implantar o uso de jarras de barro pelas famílias de áreas rurais como meio de armazenar água para os períodos de escassez. As jarras foram dimensionadas para ter capacidade de 2.000 litros, tendo como base o consumo de 50 litros diários por habitante, suficiente para atender as necessidades básicas de água potável. Com os subsídios do governo, envolvimento de ONGs em ações de educação, treinamento e suporte, e o apoios das comunidades, em cerca de oito anos foram construídas 6 milhões de jarras (GNADLINGER, 2009).

Como a popularização do uso das jarras, surgiu o envolvimento da iniciativa privada através da introdução de pequenas fábricas, embora o envolvimento do sector privado no

programa não estivesse previsto no projeto. A produção comercial de jarras, calhas e condutores para coleta de água da chuva proporcionou a criação de novas fontes de trabalho, gerando emprego e renda para a região. Com uma técnica construtiva simples, materiais e equipamentos acessíveis com baixo custo, bom desempenho e durabilidade (cerca de 20 anos), essa tecnologia se espalhou por todo país, onde cada família tem hoje em dia pelo menos 2 jarras (ver Figura 6). Quinze anos após o início do projeto, a produção comercial acabou substituindo por completo as subsidiadas pelo governo, melhorando a qualidade do produto, beneficiando a todos os envolvidos no processo (SANTIAGO; STROHMANN; KHAKA, 1998).

Figura 6: Jarras para água de chuva



Fonte: <http://www.appropedia.org>. 31/07/2016

Segundo Mello, 1991 apud XAVIER, 2010 os relatos mais antigos de utilização da água de chuva no Nordeste brasileiro datam de 1.587, referindo-se ao uso, pela população de Olinda-PE de água de chuva captada dos telhados do Colégio dos Jesuítas.

Todavia, a disseminação de tecnologias de captação e armazenamento de água de chuva só teve impulso no final do século XX, com ações promovidas pela Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), através do Centro de Pesquisa Agropecuária do Tópico Semiárido (CPATSA) que desenvolveu nas décadas de 70 e 80 estudos para captação e conservação de água pluvial no Semiárido nordestino, notadamente para fins de consumo humano, com destaque para a construção de cisternas rurais (SILVA, *et al.* 1988).

2.3.2 Qualidade da água de chuva

A água é um recurso natural cujas características são influenciadas pelas as condições do ambiente em que se encontra, por isso a qualidade da água da chuva tem sido o principal tema discutido no que diz respeito a viabilidade do aproveitamento de águas pluviais. De acordo com Philippi *et al* (2006) as características da água da chuva podem ser influenciadas por diversos fatores como: nível de poluição atmosférica, regime dos ventos, localização geográfica, intensidade e duração da chuva, e principalmente os métodos de captação, armazenamento e manuseio.

A contaminação atmosférica da água das chuvas ocorre principalmente em zonas urbanas densamente povoadas ou em área industrializadas onde há um grande número de poluentes prejudiciais para a qualidade da água da chuva como, o dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio e vários hidrocarbonetos (HEIJNEN, 2012). Contudo, Andrade Neto (2004) afirma que mesmo nestes locais, a água da chuva encontra-se na maioria das vezes em boa qualidade química (dureza, salinidade, alcalinidade, etc.), sendo adequada em usos diversos para fins não potáveis.

Annechhini (2005) destaca que em regiões próximas aos oceanos as concentrações de sódio, potássio, magnésio e cloro na água da chuva são mais elevadas, enquanto que regiões com grandes áreas não pavimentadas, como em áreas rurais, é comum que a água da chuva apresente partículas de origem terrestre como a sílica, o alumínio e o ferro.

Na etapa de captação da água da chuva ocorre as maiores alterações na qualidade da água. Ao escoar pela superfície de captação, a água traz consigo as impurezas presente na superfície (fezes de aves, poeira, detritos, microrganismos, folhas, insetos) que se acumulam nos períodos de estiagem (ANDRADE NETO, 2004).

Outro aspecto importante em relação a superfície de captação é o tipo de material no qual ele é feito, pois pode propiciar condições para a retenção de sujeiras e proliferação de microrganismos. Conforme Terry, 2001 apud Tomaz, 2009 os telhados melhores quanto ao aspecto bacteriológico são pela ordem: *metálico* > *fibrocimento* > *plásticos* > *telhas cerâmicas*.

Hagemann (2009) recomenda que as superfícies de coleta sejam resguardadas de árvores para desviar-se das folhas e galhos que caem, além dos estragos causados por pássaros e outros animais.

De acordo com Jaques (2005) o emprego do descarte da primeira chuva melhora a qualidade da chuva, diminuindo as concentrações de partículas e elementos poluidores, reduzindo os níveis de sólidos suspensos, turbidez, cor, coliformes fecais, DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio). A NBR 15527/07 recomenda que o dispositivo de descarte de água deve ser dimensionado pelo projetista. Na falta de dados, recomenda-se o descarte de 2 mm da precipitação inicial.

Quanto ao armazenamento da água da chuva, é importante tomar as devidas proteções sanitárias para que não ocorra a sua contaminação. É necessário que o reservatório proteja a entrada de animais, insetos e detritos, assim como também impeça a incidência de luz na água para evitar proliferação de algas. O contato direto da água com baldes ou latas dentro do reservatório deve ser evitado, sendo aconselhável utilizar tubulação ou bomba de acordo a disposição da cisterna. Além disso, o reservatório deve ser impermeabilizado, evitando infiltração de águas contaminadas. (ANDRADE NETO, 2004)

Para garantir a qualidade da água da chuva a NBR 15527/07 apresenta a Tabela 1, indicando a frequência de manutenção dos componentes do sistema de captação de águas pluviais:

Tabela 1: Frequência de Manutenção do sistema de captação de águas pluviais

Componente	Frequência de Manutenção
Dispositivo de descarte de detritos	Inspeção mensal Limpeza trimestral
Dispositivo de descarte de escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	Semestral
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

Fonte: ABNT, NBR 1527:2007

2.4 Utilização da água de chuva

Em meio ao atual cenário de incertezas em relação a disponibilidade dos recursos hídricos, a busca por medidas de redução de consumo, e a busca por alternativas viáveis e mais acessíveis para tentar mitigar o problema da escassez de água, tem se tornado um tema cada vez mais discutido na sociedade de modo geral. O aproveitamento de água da chuva tem se destacado pela sua abundância e fácil acesso. Além de gerar economia de água, o aproveitamento da chuva proporciona outras vantagens como:

- a) Incentiva uma cultura de sustentabilidade ecológica;

- b) Ajuda a conter enchentes ao armazenar parte da água;
- c) Reduzir a dependência excessiva das fontes superficiais de abastecimento;
- d) Ajuda em tempos de crise hídrica.

É por esses e outros motivos que alguns estados e municípios já possuem legislação própria a respeito do manejo e aproveitamento de águas pluviais como alternativa para fins não potáveis. Xavier (2010) cita como exemplo o município de São Paulo que em 2002, aprovou a Lei nº 13.276, tornando obrigatória a construção de reservatórios para armazenamento de águas pluviais coletadas em áreas impermeabilizadas superiores a 500 m².

No estado do Rio de Janeiro, a Lei nº 4393 de 2004 obriga as empresas projetistas e de construção civil a prover dispositivos para captação de água da chuva, nos projetos de empreendimentos residenciais que abriguem mais de 50 famílias ou nos de empreendimentos comerciais com área construída maior que 50 m² (TOMAZ, 2009)

2.4.1 Água da chuva para fins não potáveis

Para que a água da chuva possa ser utilizada para fins não potáveis é necessário atender determinados parâmetros de qualidade. A NBR 15527/07 apresenta os requisitos para aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, como podem ser vistos na Tabela 2:

Tabela 2: Parâmetros de qualidade da água da chuva para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT, para usos menos restritivos < 5,0 Ut
Cor aparente	Mensal	< 15 uT
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 6,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

Fonte: ABNT, NBR 1527:2007 (adaptado)

A qualidade da água de chuva depende muito do local onde é coletada. Em função disso Group Raindrops (2002) classificou as águas pluviais em função do seu local de coleta, especificando a necessidade de tratamento das mesmas, como pode ser visto na Tabela 3:

Tabela 3: Variações da qualidade da água de chuva devido ao sistema de coleta

Grau de purificação	Área de coleta de chuva	Observações
A	Telhados (lugares não frequentados por pessoas ou animais)	Se a água for purificada, é potável
B	Telhados (lugares frequentados por pessoas ou animais)	Apenas usos não potáveis
C	Pisos e estacionamentos	Necessita de tratamento mesmo para usos não potáveis
D	Estradas	Necessita de tratamento mesmo para usos não potáveis

Fonte: GROUP RAINDROPS (2002)

2.4.2 Água da chuva para fins potáveis

O uso de água da chuva para atender as necessidades básicas do consumo humano é uma prática comum em diversos lugares do planeta. No Brasil essa prática é comum na região do Semiárido, especialmente no meio rural, onde a disponibilidade de água é mais deficitária. Segundo Andrade Neto (2004), a água de chuva que precipita nas regiões rurais apresenta excelente qualidade, e sua aceitabilidade pelos moradores é bastante comum.

Para que a água de chuva possa ser utilizada para o consumo humano é necessário garantir que suas características atenda os padrões de qualidade. A Portaria nº518/2004 do Ministério da Saúde, apresenta o padrão de aceitação de consumo (ver Tabela 4).

Tabela 4: Padrões de Potabilidade

Parâmetro	Unidade	Valor máximo permitido
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Coliformes fecais	NMP	Ausência em 100 ml
Coliformes totais	NMP	Ausência em 100 ml
Cor aparente	mg PtCo/L	15
Dureza	mg/L CaCO ₃	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Monoclobenzeno	mg/L	0,12
Odor	-	Não objetável
Gosto	-	Não objetável
PH	-	6,0 a 9,5
Sódio	mg/L	200

Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3

Fonte: MINISTÉRIO DA SAÚDE – (Adaptado por JAQUES, 2005)

Silva et al. (2012) cita vários estudos a respeito da qualidade da água de chuva armazenadas em cisternas, indicando que eles apresentaram resultados satisfatório quanto aos padrões físico-químicos de potabilidade. Entretanto, estes mesmo estudos detectaram a presença de microrganismos patogênicos, conseqüentemente não atendendo os padrões microbiológicos (ver tabela 5).

Tabela 5: Estudos que apontaram a presença de indicadores de contaminação em amostras de água de chuva

Autor (es)	Local de estudo	n° amostras	Percentual de amostra com presença de indicador de contaminação fecal
Amorim e Porto (2001)	Pernambuco	14	100% das amostras > 1 coliformes ^c
Simmons et al (2001)	Nova Zelândia	125	56% das amostras > 1 coliformes termotolerantes
Brito et al (2005) ^a	Pernambuco	50	100% das amostras > 1 coliformes termotolerantes
Brito et al (2005) ^b	Pernambuco	15	73% das amostras > 1 coliformes termotolerantes
Silva (2006)	Minas Gerais	112	70% das amostras > 1 <i>Escherichia coli</i>

^a Avaliação das características físico-químicas e bacteriológicas das águas das cisternas da comunidade de Atalho, Petrolina-PE. ^b Qualidade físico-química e bacteriológica das águas de cisternas no município de Ouricuri. ^c Sem especificação.

Fonte: SILVA et al. 2012

Para Gould (1999) apud Blackburn et al. (2005), estudos como estes não indicam que a água de chuva não seja própria para uso potável. Segundo ele, em todo mundo, milhões de pessoas dependem da água da chuva, em contrapartida pouco são o número de casos graves de saúde relacionados ao consumo de água de chuva.

Amorim e Porto (2003), enfatizam que para que a qualidade da água da chuva atenda os padrões de potabilidade, é necessário adotar medidas a fim de evitar contaminações, com adoção de ações que visam criar uma barreira física aos possíveis contaminantes (limpeza e manutenção dos componentes, descarte das primeiras chuvas, manejo adequado), e a aplicação de tratamentos da água da cisterna (filtração, fervura, adição de cloro e etc.).

2.5 Alternativas para o Aproveitamento de Água de Chuva

Diante deste cenário marcado por características tão desfavoráveis a vida população do Semiárido, surge à necessidade de se implementarem medidas estratégicas que visem o desenvolvimento de projetos de gestão dos recursos hídricos que possibilitem o atendimento do consumo humano como também de suas atividades econômicas.

Nesse aspecto, Gnadlinger (2015) destaca as cinco linhas de políticas de água nas quais é necessário desenvolver o manejo sustentável de suas atividades, valorizando as potencialidades do Semiárido, assim como também, respeitando suas limitações (ver figura 7):

- 1- Água de beber para as famílias;
- 2- Água para comunidade;
- 3- Água para agricultura;
- 4- Água para situações de emergências;
- 5- Água para o meio ambiente.

Figura 7: As cinco linhas de luta pela água no Semiárido Brasileiro



Fonte: GNADLINGER 2015 (desenho: Gecel Alves Sobrinho)

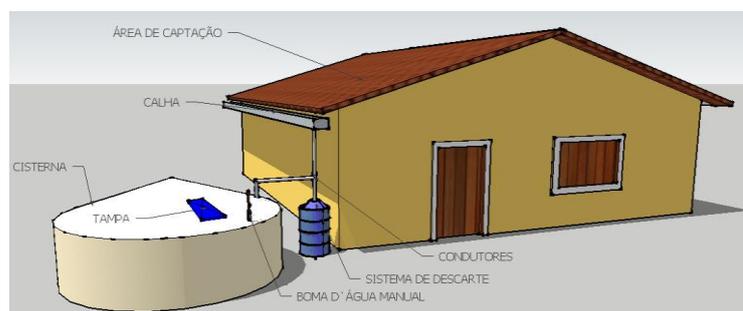
2.6 Cisternas para aproveitamento da água de chuva.

Dentre as alternativas para captação e aproveitamento de águas pluviais, as cisternas são com certeza as mais difundidas e empregadas no semiárido brasileiro. Esse sistema milenar de captação de água da chuva teve seus primeiros estudos iniciados no final da década de 70, sendo a Embrapa Semiárido umas das precursoras nos estudos científicos voltados para o assunto. Com o objetivo de criar métodos mais eficazes para mitigar o problema da falta de água na região, a Embrapa Semiárido juntamente com outras instituições, desenvolveram diferentes tipos de cisternas que pudessem se adequar às adversidades de cada região do semiárido (BRITO e SILVA, 2007). Dentre essas diferenças, podemos destacar:

- (a) Necessidades de uso, que pode ser para consumo humano, animal ou atividade agrícola;
- (b) Materiais e mão de obra disponíveis na região;
- (c) Características climáticas e pluviométricas de cada localidade;
- (d) Diversidades socioeconômicas e ambientais.

Além da cisterna, o sistema de captação de água da chuva (ver Figura 8) é composto por: área de captação, calha de coleta, condutores verticais e horizontais, e conjunto de acessórios auxiliares (bomba manual, filtro, separador de águas).

Figura 8: Modelo de cisterna com área de captação no telhado



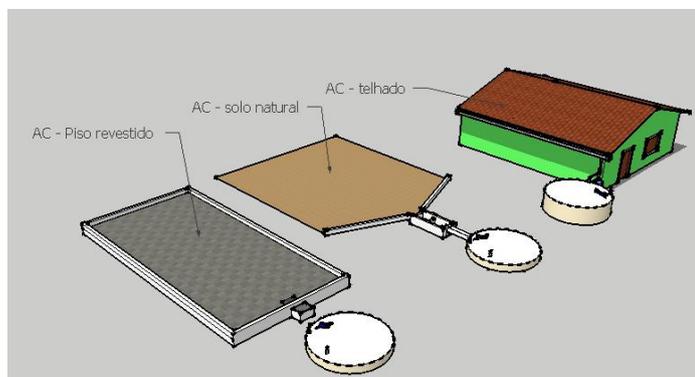
Fonte: O autor

2.6.1 Área de captação

Tem a função coletar a água de chuva precipitada e conduzir até as calhas de coleta. Em geral, a área de captação mais utilizada é a própria cobertura da residência. Contudo, algumas

tecnologias empregadas na região do semiárido utilizam o próprio solo para captação de água da chuva, seja ele revestido com algum material, ou até mesmo o solo natural (ver Figura 9).

Figura 9: Exemplos de alternativas para área de captação (AC)



Fonte: O autor

Como nem toda água que cai na superfície de captação é totalmente aproveitada, seja devido a evaporação, absorção do material ou outros tipos de perdas, é necessário empregar um coeficiente minorador no dimensionamento do volume de água captado. O coeficiente de escoamento superficial (C) ou coeficiente de Runoff, é a relação existente entre o volume escoado e o volume precipitado, cujos valores variam entre 0 e 1. Ele é empregado no dimensionamento do volume efetivamente captado. O coeficiente C depende vários fatores como: intensidade da chuva, umidade do solo, topografia, cobertura vegetal, grau de compactação do solo, material usado na superfície de captação. A tabela 6 apresenta valores médios para C em função do tipo de cobertura da superfície de captação (SILVA et al. 1984).

Tabela 6: Coeficiente de Runoff

Materiais ou tipo de superfície	C
Cobertura em polietileno	0,9
Cobertura em argamassa de cimento e areia	0,88
Cobertura em asfalto	0,88
Cobertura em telha cerâmica	0,8 a 0,9
Cobertura em telha esmaltada	0,9 a 0,95
Cobertura em telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Plástico, PVC	0,9 a 0,95
Concreto (pavimento impermeável)	0,95
Paralelepípedos de granito	0,6
Cobertura com capim buffel	0,07
Solo de textura fina em “pousio”	0,24
Solo de textura grossa	0,2

Fonte: adaptado de: TOMAZ, (2009); SILVA et al. (1984)

2.6.2 Calhas e condutores

Calhas são canais que recolhem a água de coberturas, terraços e similares e a conduzem a um ponto de destino (ABNT, NBR 10.844/89). São encontradas no mercado nos mais variados formatos (seção transversal), e podem ser feitas de diversos tipos de materiais como: alumínio, aço, PVC, fibra de vidro, alvenaria ou concreto.

Condutores são as tubulações destinadas a recolher águas de calhas, coberturas, terraços e similares e conduzi-las até os locais de armazenamento ou descarte. A NBR 10.844/89 apresenta os métodos para o dimensionamento das calhas e condutores

2.6.3 Sistema de filtragem

Grades e filtros de limpeza

São dispositivos instalados na linha de fluxo para impedirem a passagem de sedimentos que se acumulam na área de captação. Podem ser confeccionados com telas de arame, aço galvanizado e peneiras de nylon (ver Figura 10). No mercado encontra-se modelos comerciais de filtros para esta finalidade (HAGEMANN, 2009).

Figura 10: Filtro para retenção de sedimentos



Fonte: o autor

Descarte das primeiras águas (First Flush)

As primeiras águas que escoam sobre a superfície de captação transportam uma grande quantidade de impurezas (poeira, detritos, folhas, galhos, insetos, fezes de animais, e

microrganismos) que se acumulam no intervalo entre duas chuvas. Para evitar que esta água contaminada entre no reservatório, utiliza-se um sistema de descarte que pode de dois tipos:

- *Descarte manual*: desconecta-se o tubo de coleta do reservatório no início das primeiras chuvas de forma manual;
- *Descarte automatizado*: através de um tê intercalado na tubulação de entrada da cisterna, que deriva para um pequeno reservatório (ver Figura 11). Quando este reservatório enche, o fluxo de água é direcionado para a cisterna. O tamanho do reservatório de descarte é obtido em função da área da área de captação (ANDRADE NETO, 2004). A ABCMAC (Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva) indica o descarte de 1 a 2 litros por metro quadrado de telhado (RODRIGUES et al. 2007).

Figura 11: Dispositivo de descarte das primeiras águas



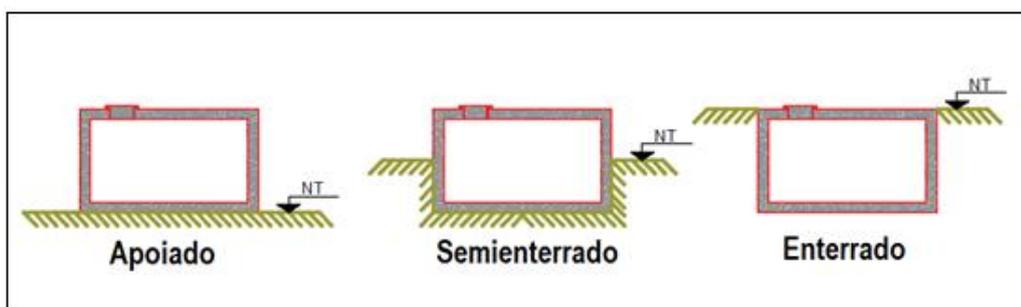
Fonte: Rodrigues et al, 2007

2.6.4 Reservatório de armazenamento

O reservatório de armazenamento é o principal componente no sistema de captação de águas pluviais, e na maioria das vezes é o mais oneroso de todos. Sendo assim, é necessário avaliar diversos critérios que irão influenciar na viabilidade de sua construção, dentre ele podemos destacar: localização, material empregado, técnicas de execução, eficiência.

Localização: Um dos aspectos a ser considerado é forma com que o reservatório ficará disposta no solo. Nesse sentido, podemos implantar o reservatório de três maneiras distintas: Apoiado sobre o terreno, semienterrado e enterrado (ver Figura 12).

Figura 12: Classificação de acordo com a localização no terreno



Fonte: O autor

Silva et al. (1988) e Xavier (2010) atentam para os seguintes cuidados quanto a localização da cisterna:

- O local ideal para construção da cisterna deve estar a pelo menos 15 metros de distância de currais, fossas, latrinas, estábulos, matadouro e depósitos de lixo;
- Estar próximo dos pontos de consumo, para diminuir a distância de transporte da água;
- Distante de árvores para evitar que as raízes danifiquem o reservatório;

A NBR 12217/94 apresenta condições exigíveis na elaboração de projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público, sendo assim, é importante destacar algumas recomendações:

- O fundo do reservatório deve ficar acima do nível de água máximo do lençol freático e da cota de inundação máxima;
- O extravasor deve ser dimensionado para vazão máxima capaz de alimentar o reservatório, em condições normais ou excepcionais de operação;
- A folga mínima entre a cobertura do reservatório e o nível máximo atingido pela água em extravasão é de 0,30 m;
- O reservatório deve possuir ventilação para entrada e saída de ar, feita por dutos protegidos com tela e com cobertura que impeça a entrada de água de chuva e limite a entrada de poeira;
- Deve ser prevista descarga de fundo, situada abaixo do nível mínimo, com diâmetro não menor que 0,15 m.

Quanto aos modelos de cisterna, existe uma grande variedade de opções no mercado, as mais utilizadas são as fabricadas em polietileno e fibra de vidro. Há também as pré-fabricadas

ou fabricadas in loco, podendo ser construídas com diversos matérias como: placas de cimento, argamassa armada com tela metálica, concreto, tijolos (ver Figura 13 e 14).

Figura 13: Cisterna de placas pré-moldadas



Fonte: Xavier (2010)

Figura 14: Cisternas de polietileno



Fonte: Fortlev, Disponível em: <http://www.fortlev.com.br>

A cisterna tem sido largamente utilizada nas áreas rurais do Semiárido brasileiro, a sua popularidade nessa região fez com que diversos pesquisadores desenvolvessem tecnologias que explorassem o uso de cisterna para armazenar água da chuva. Além do uso da cobertura das residências, outras técnicas foram desenvolvidas, entre essas tecnologias, podemos destacar:

2.6.5 Cisterna-calçadão

Também conhecida como cisterna de produção, é uma tecnologia desenvolvida pela Diacônia para proporcionar a população do semiárido, mais uma alternativa para convivência com a escassez de água na região. O sistema é composto por uma cisterna de placas pré-moldadas, que armazena água de chuva captada através de um calçadão retangular construído no nível do solo (ver Figura 15).

De acordo Andrade e Silva (2015), o dimensionamento das cisternas calçadão deve ser realizado de acordo com a variabilidade pluviométrica de cada região, levando-se em conta a relação entre o custo de implantação com o risco do não atendimento da demanda.

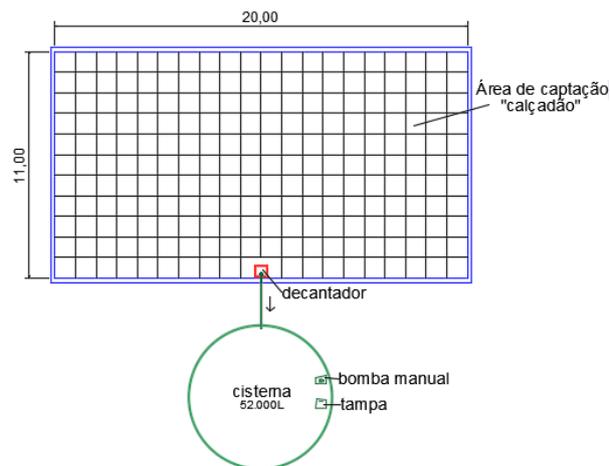
Figura 15: Cisterna-calçadão



Fonte: O autor

As cisternas-calçadão podem ser divididas basicamente em dois elementos: Área de captação e Reservatório (ver Figura 16).

Figura 16: Desenho esquemático da cisterna-calçadão.



Fonte: Programa cisternas (adaptado).

Área de captação: O tamanho do calçadão foi dimensionado de forma que possibilite o enchimento da cisterna mesmo em anos de estiagem com precipitação de 350 mm. A dimensões básicas do calçadão é de 11 x 20 m, porém, podem ser ajustadas de acordo a disponibilidade do terreno. Para proteger o calçadão é necessário construir um meio fio de alvenaria. O piso deve possuir uma declividade mínima de 3%, de forma que toda água seja direcionada para o decantador sem deixar poças d`água. O calçadão pode ser feito de uma única vez (placa única), ou em placas de 1 x 1 m moldada in loco, rejuntadas com argamassa (ASA, 2014), como pode ser visto na figura 17.

Figura 17: Construção do meio fio e do piso em placas.



Fonte: ASA - Articulação do Semiárido.

Reservatório: A cisterna circular de placas pré-moldadas é mais empregada nesse sistema de captação por ser uma alternativa tecnológica barata, prática e segura. Para poder armazenar 52.000 litros d'água é necessário que ela tenha 6,2 metros de diâmetro e altura de aproximadamente 1,73 metros. A cisterna deve ser construída em um local próximo onde será cultivado as frutas e hortaliças, mas como uma certa distância para que as raízes das árvores não danifiquem o reservatório. A vantagem de utilizar a cisterna nesse sistema é que por ficar enterrada, facilita o seu manuseio, e proporcionar uma temperatura da água mais amena.

2.6.6 Cisterna-calçada circular

Conhecida como Cisterna Chapéu de Pe. Cícero, foi desenvolvida pela Associação Cristã de Base – ACB, a partir da experiência com a cisterna-calçada, este modelo de cisterna surgiu devido à necessidade de se construir uma área de captação otimizada. Muitos agricultores de pequenas propriedades não têm espaço suficiente para construir uma cisterna-calçada, pois devido à grande área demandada para construir uma cisterna-calçada, não sobrava muito espaço disponível para cultivo (ACB, 2016). Além da diferença geométrica deste modelo circular para a cisterna-calçada tradicional, existe a diferença da forma como a área de captação está posicionada em relação a cisterna. Neste modelo circular o calçada está posicionado ao redor da cisterna, o que proporciona uma maior eficiência na área de implantação, além de garantir uma maior proteção a cisterna, impedindo que haja erosão do solo ao redor dela. Outra característica que se deve destacar é o aproveitamento da própria coberta da cisterna para captação da água (ver Figura 18).

Figura 18: Cisterna-calçada circular



Fonte: Fundação Banco do Brasil
(Disponível em: <http://www.fbb.org.br>)

2.6.7 Cisterna-enxurrada

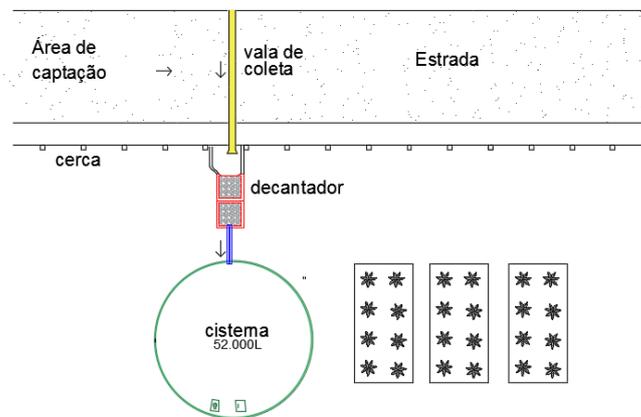
A cisterna de enxurrada (ver Figura 19 e 20) é mais uma tecnologia simples que permite que o agricultor do semiárido armazene água da chuva para utilizar no cultivo e na criação de animais. Assim como a cisterna-calçada, ela utiliza a água captada no solo para encher a cisterna. Nesse sistema, a área de captação é o próprio terreno natural ou até mesmo de uma estrada próxima. A água da chuva escorre pelo solo e é direcionado até uma série de caixas de coleta que retém o material sólido que é arrastado pela água. Quando as caixas enchem, tubos de pvc coletam água e transferem para a caixa seguinte até por fim chegarem a cisterna. O tamanho e a quantidade caixas de coleta depende muito do tipo de solo e do volume de água captado (ASA, 2014).

Figura 19: Cisterna-enxurrada



Fonte: O autor

Figura 20: Desenho esquemático de uma Cisterna-enxurrada.



Fonte: Cisternas domiciliares: água para consumo humano. 2007. (adaptado).

2.7 Programas sociais voltada para aproveitamento da água de chuva

A convivência com a seca na região do Semiárido se dá através do desenvolvimento sócio ambiental, pela luta do homem com as adversidades da natureza, através do manejo sustentável dos recursos naturais. Para que os efeitos da estiagem não comprometam a vida na região do Semiárido, é necessário a adoção de uma cultura de estoque de água para os diversos usos, consumo humano, dessedentação de animais e produção de alimentos. É nesse âmbito que o Governo Federal tem investido em projetos para amenizar os efeitos da estiagem, que são desenvolvidos pela ASA (Articulação no Semiárido Brasileiro). Dentre esses projetos sociais, podemos destacar os seguintes programas:

Programa 1 milhão de Cisternas – PIMC:

O programa PIMC tem o objetivo de implantar o uso de cisternas para captação da água de chuva, como alternativa para atender as necessidades básicas de água (beber, cozinhar, higiene pessoal) das famílias que vivem nas comunidades rurais da região do Semiárido brasileiro. Com uma meta de construir um milhão de cisternas, o programa envolve a participação social e comunitária durante todas as etapas de execução do programa, mobilizando e capacitando famílias beneficiadas, e profissionais para construção das cisternas (ASA, 2016).

As cisternas têm capacidade para armazenar 16 mil litros de água, dimensionadas para atender às necessidades básicas de uma família com cinco pessoas, por um período sem chuvas de 240 dias, considerando um consumo diário de 14 litros por pessoas (BRITO *et al*, 2007).

São feitas de placas de argamassa de cimento, pré-moldadas no próprio local de instalação, sendo confeccionada por pedreiros capacitados e cadastrados pela ASA. A construção envolve a participação da família beneficiada, gerando uma maior integração social em todas as etapas do projeto. Contudo, com o objetivo de cumprir a meta de 1 milhão de cisternas, recentemente o governo também tem adotado o uso de cisternas comerciais, fabricadas em polietileno. Em todas as cisternas são instaladas bombas manuais, calhas, condutores, coadores, telas de proteção e cadeados. Segundo dados recentes da ASA, o programa já distribuiu 588.935 cisternas (ASA, 2016).

Programa Uma Terra e Duas Águas - P1+2:

Com o objetivo de ampliar a oferta de água para as famílias e comunidades rurais, promovendo a soberania e a segurança alimentar e nutricional das famílias e fomentar a geração de emprego e renda para as mesmas, o P1+2 desenvolve a implantação de tecnologias de manejo e estoque de água para atender as necessidades hídricas para o cultivo e criações de animais (ASA, 2016).

Com adoção de um novo modelo de desenvolvimento rural, através da adoção de agroecologias como base para ações de convivência com o Semiárido, P1+2 implementa tecnologias de baixo custo para captação e armazenamento de água para produção de alimentos, levando em consideração as características locais e estratégias utilizadas pelas famílias para produzir. Dentre essas tecnologias sociais podemos destacar:

1. Cisterna-Calçadão;
2. Cisterna-enxurrada;
3. Barragem subterrânea;
4. Tanque de pedra;
5. Barreiro trincheira.

Projeto Cisternas nas Escolas:

O Projeto Cisternas nas Escolas tem como objetivo levar água para as escolas rurais do Semiárido, através da implantação de cisternas de 52 mil litros como tecnologia social para armazenamento da água de chuva. O projeto abrange escolas que não têm acesso à água e que foram mapeadas pelo Governo Federal. Essa lista inclui as escolas localizadas em aldeias indígenas e comunidades quilombolas, que devem ser priorizadas nas ações do Cisternas nas Escolas (ASA, 2016). Segundo dados de novembro de 2016 disponibilizados pela ASA, 3.405 escolas foram beneficiadas com a cisterna de 52 mil litros.

2.8 Métodos de dimensionamento de reservatório

No sistema de captação e armazenamento de águas pluviais, a cisterna é o item de maior custo, além disso, sua capacidade de armazenamento é fundamental no atendimento da demanda de consumo de água. Sendo assim, é necessário que seu dimensionamento seja feito de forma criteriosa, para que atenda às necessidades de maneira econômica e eficiente. São muitos os fatores que podem influenciar na capacidade de captação do reservatório, por isso é importante avaliar cada aspecto que possa interferir na relação entre disponibilidade e demanda. Cohim et al. (2008) destaca alguns destes fatores:

Regime pluviométrico: A variabilidade das precipitações em diferentes regiões interfere diretamente no aproveitamento da captação da água da chuva. Por isso esse fator pode ser considerado como o principal aspecto no desempenho do reservatório. Em função disso, é necessária uma correta análise nos padrões de distribuição das chuvas nas diferentes localidades, para que seja possível estabelecer uma relação entre a eficiência do sistema e a variabilidade temporal da precipitação.

Área de captação: O volume de água que poderá ser captada em função da área do telhado ou área impermeável disponível é um dos parâmetros necessários para cálculo do reservatório. O material do qual é constituído a superfície de captação implica no aproveitamento do escoamento, pois a porosidade tende a diminuir o escoamento, afetando na eficiência da captação.

Demanda de água: O objetivo principal no dimensionamento do reservatório é garantir um fornecimento que supra as necessidades de consumo dos usuários, portanto, deve-se levar em consideração o padrão de consumo de água para que o volume obtido no dimensionamento atenda aquela demanda. Vários fatores irão influenciar no padrão de consumo, como: o número de usuários na residência, seus hábitos de uso, necessidade de consumo, e existência de outras fontes disponíveis.

Existem diversas metodologias para o dimensionamento de reservatórios para armazenamento de águas pluviais, A NBR 15527:2007 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) apresenta diferentes métodos, dentre estes podemos destacar: Rippl, Azevedo Neto, Prático Alemão, Prático Inglês, e por Simulação. Um método não indicado pela a norma que deve ser destacado por sua grande utilização, é o método de Maior Período de Estiagem.

2.8.1 Método de Rippl

O método de Rippl é uma das técnicas mais empregadas no dimensionamento de reservatório de água da chuva. Ele consiste num balanço de massa que relaciona a diferença de entrada e saída de água no reservatório em um mesmo intervalo de tempo, obtida pela equação 2.

$$S(t) = D(t) - Q(t) \quad \text{Equação 1}$$

$$Q(t) = C \times P(t) \times A \quad \text{Equação 2}$$

Sendo que:

$$V = \sum S(t), \text{ somente para valores } S(t) > 0;$$

$$\sum D(t) < \sum Q(t).$$

Onde:

$S(t)$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$Q(t)$ é o volume de chuva captada no tempo t ;

$D(t)$ é a demanda ou consumo no tempo t ;

$P(t)$ é a precipitação no tempo t ;

C é o coeficiente de escoamento superficial;

A é a área de captação;

V é o volume do reservatório.

De acordo com a NBR 15527/07, neste método podem-se usar as séries históricas mensais ou diárias. Campos (2004, apud Amorim; Pereira, 2008) recomenda que, quanto menor o intervalo nos dados pluviométricos, maior será a precisão no dimensionamento. Entretanto

devido à ausência de dados, é muito comum o emprego de dados mensais, pois apresentam resultados satisfatórios.

2.8.2 Método da Simulação

Esse método também se baseia no balanço de massa (Equação 3) em um reservatório de volume previamente definido. O volume arbitrado pode ser escolhido pelo próprio projetista ou mesmo indicado por outros métodos. A partir da análise de entradas (captação) e saídas (consumo) obtém-se a variação de volume no reservatório, possibilitando verificar em que períodos o reservatório não irá conseguir atender a demanda. Assim, é possível observar qual volume pré-definido obteve maiores eficiências.

$$\mathbf{S(t) = Q(t) + S(t-1) - D(t)} \qquad \text{Equação 3}$$

Sendo que: $0 \leq S(t) \leq V$

Onde:

$Q(t)$ é o volume de chuva captada no tempo t ;

$S(t)$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$S(t-1)$ é o volume de água no reservatório no tempo $t - 1$;

$D(t)$ é o consumo ou demanda no tempo t ;

V é o volume do reservatório fixado.

A NBR 15527 (ABNT,2007) sugere que algumas hipóteses devem ser consideradas:

- (a) A evaporação da água da chuva não seja levada em conta;
- (b) Considerar o reservatório estando cheio no início da contagem do tempo “ t ”;
- (c) Os dados históricos são representativos para as condições futuras.

De acordo com McMahon (1993) apud Tomaz (2009), esse método se destaca por possibilitar o uso de dados diários ou mensais de precipitação. Além disso o uso de séries maiores de dados históricos possibilita a incorporação de problemas sazonais e períodos críticos de seca.

2.8.3 Método de Azevedo Neto

Também conhecido como método Prático Brasileiro, é um método empírico que utiliza 3 parâmetros para determinar o volume de um reservatório, conforme a equação 4:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

P é a média da precipitação anual, expresso em milímetros (mm);

T é a quantidade de meses de pouca chuva ou seca;

A é a área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);

V é o volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

Na sua equação, o método de Azevedo Neto não leva em consideração o consumo de água para dimensionamento do volume. Quanto a quantidade de meses de pouca ou nenhuma precipitação, a NBR 15527 não especifica nenhum tipo de recomendação para determinar quando deve ser considerado um mês de pouca chuva.

2.8.4 Método Prático Alemão

A metodologia empírica utilizada nesse método é muito simples. Calcula-se o volume anual de consumo e o volume anual de precipitação. O volume do reservatório será equivalente a 6% do menor valor dos dois volumes calculados, de acordo com a equação 5:

$$V_{\text{dot}} = \text{mínimo entre (V e D)} \times 0,06 \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

V é o volume aproveitável de água de chuva anual, expresso em litros (L);

D é a demanda anual da água não potável, expresso em litros (L);

V_{dot} é o volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

2.8.5 Método Prático Inglês

Para o dimensionamento de reservatório o método prático inglês utiliza apenas a média das precipitações anuais e a área de captação. O volume obtido será equivalente a 5% do volume de água coletado, de acordo com a seguinte equação 6:

$$V = 0,05 \times P \times A \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

P é a precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

A é a área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);

V é o volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna, expresso em litros (L).

2.8.6 Método do Maior Período de Estiagem

Este método baseia-se na utilização do máximo período de dias consecutivos sem precipitação, sendo assim, é necessário utilizar séries históricas de dados diários de precipitação para determinar o maior intervalo de dias consecutivos sem chuva e sua taxa de repetição. O volume do reservatório é determinado pela seguinte equação 7 (AMORIM e ANDRADE PEREIRA, 2008):

$$V = N \times D \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

V é o volume do reservatório em (m³);

N é o intervalo de dias consecutivos sem chuva;

D é a demanda diária em (m³).

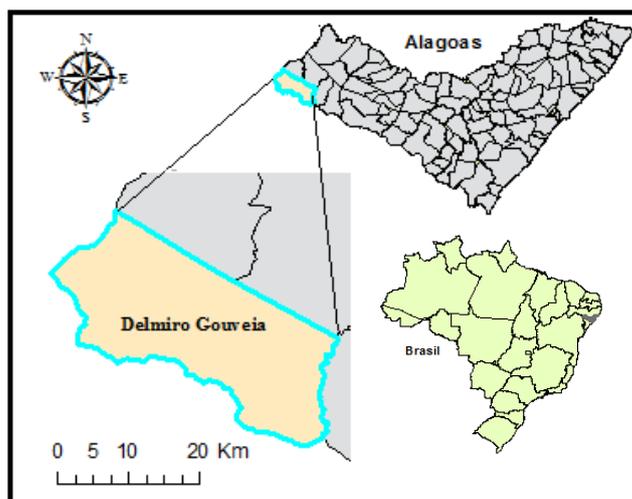
É comum considerar dias sem chuva aqueles nos quais a precipitação foi inferior a 2mm.

3.0 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O município brasileiro de Delmiro Gouveia (ver Figura 21) está localizado no sertão de Alagoas, no extremo oeste do estado, fazendo fronteira com os municípios alagoanos de Água Branca, Olho D'Água do Casado e Pariconha, e com os estados da Bahia, Sergipe e Pernambuco. Com uma área territorial de 626. 690 km² o município encontra-se em uma altitude de 256 metros acima do nível do mar, possuindo em 2016 uma população de 52. 306 habitantes segundo estimativas do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O município está inserido na região caracterizada pelo clima semiárido, apresentando precipitação anual média em torno de 500 mm.

Figura 21: Localização do município de Delmiro Gouveia



Fonte: O autor.

3.2 Levantamento de dados

3.2.1 Coleta de dados Pluviométricos

Os dados de precipitação utilizados neste estudo foram obtidos através da série histórica da estação pluviométrica de Delmiro Gouveia, código 00937013, fornecido pelo portal hidroWeb da ANA (Agência Nacional de Águas). Os dados coletados referem-se ao histórico diário de precipitação entre os períodos de 01/01/1981 a 31/12/2006, totalizando uma série

histórica de 26 anos, o que permitirá uma melhor caracterização da variabilidade pluviométrica do município.

3.2.2 Coleta de dados dos beneficiários das cisternas

A COPPABACS (Cooperativa dos Bancos Comunitários de Sementes), responsável por acompanhar e implementar os projetos do P1MC (Programa de Um Milhão de Cisternas), nas regiões do alto e médio sertão de Alagoas, forneceu os dados de 195 cisternas implantadas com as suas respectivas áreas de captação e número de moradores.

3.2.3 Avaliação dos principais padrões da variabilidade

Área de Captação

A área de telhado disponível para captação é o fator fundamental no potencial de água que poderá ser captada. Devido os diferentes tamanhos de telhados encontrados em cada residência, portanto, se fez necessário incorporar essa variável no modelo, para que se possa representar de forma significativa as diversas variações obtidas nos dados coletados.

Demanda

A eficiência das cisternas está diretamente ligada ao atendimento do consumo diário na residência, sendo assim, é importante considerar essa variável nas simulações, de modo que se construa diferentes padrões por faixa de demanda, resultando em uma melhor representação do cenário encontrado na amostragem.

Neste trabalho foi considerado o aproveitamento da água de chuva para o atendimento das necessidades básicas de uma família, como beber, cozinhar e higienização mínima. Foi estabelecido a quantidade diária de 20 litros por pessoa, recomendado como mínimo por GLEICK (1996 apud COHIM, 2013). Assim, esse valor será constante nas simulações, sendo necessário conhecer o número total de moradores na residência para determinar o consumo diário da família.

3.3 Área de captação *versus* Número de moradores

Com os dados estatísticos obtidos pela amostragem, foram feitas diversas combinações de área de captação e número de moradores, afim de que se possa representar de forma significativa a realidade encontrada.

3.4 Dimensionamento do volume das cisternas

Para cada uma das combinações de área de telhado e número de moradores, será realizado o dimensionamento do volume das cisternas, utilizando cada um dos seguintes métodos avaliados neste trabalho:

- Método de Rippl;
- Método de Azevedo Neto;
- Método Prático Alemão;
- Método Prático Inglês;
- Método do Maior Período de Estiagem.

Para o cálculo de dimensionamento do volume das cisternas, alguns métodos utilizam a precipitação média anual. Neste trabalho adotou-se o valor de 510 mm/ano como média anual para o município de Delmiro Gouveia, de acordo com ANDRADE e PEREIRA (2015).

Para o dimensionamento do volume das cisternas pelo método de Rippl, será utilizado dados de chuvas mensais obtidas na série histórica de 1981 a 2006 (período de coleta onde não há falhas).

O método de Azevedo Neto e o método do maior período de estiagem, utilizam como umas de suas variáveis o período de estiagem. Portanto, foi necessário construir uma curva de permanência, que apresenta a relação existente entre o período de pouca chuva e a frequência com que esta pode ser igualada ou superada. A curva é obtida através do método empírico dado pela seguinte equação 8:

$$P = \frac{I}{N+1} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

P = probabilidade de ocorrer ou exceder um determinado valor de precipitação;

I = Ordem da precipitação;

N = Número de observações.

3.5 Método Computacional

As análises de comportamento dos reservatórios foram realizadas através da elaboração de um algoritmo desenvolvido no software MATLAB a partir do Método da Simulação que é apresentado na NBR 15.527/2007 (ABNT, 2007). O algoritmo simula a operação dos reservatórios através do balanço hídrico diário dado pela equação 9. No algoritmo é inserido as variáveis: volume da cisterna, área de captação, e número de moradores, e como resposta o programa retorna com a quantidade de dias em que a demanda não fora atendida, assim como os dias em que houve extravasamento.

$$S(i+1) = S(i) + P(i) \times A \times C - D \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

$S(i)$ é o volume de água acumulado na cisterna num instante i ;

$P(i)$ é o vetor diário das precipitações em mm;

A é a área de captação em m^2 ;

C é o coeficiente de escoamento superficial;

D é a demanda diária em litros;

$S(i+1)$ volume de água acumulado na cisterna no final de cada balanço hídrico diário.

Ao final de cada balanço diário, o volume $S(i+1)$ não pode exceder a capacidade da cisterna, e também não pode ter um valor menor que zero. Portanto:

Se $S(i+1) > V$, então o programa contará que naquele dia houve extravasamento;

Se $S(i+1) \leq 0$, então naquele dia a demanda não foi atendida, e o programa contará que houve uma falha.

3.6 Outros Parâmetros e Considerações

Em todas as simulações realizadas foi empregado um coeficiente minorador no volume de água captado pelo telhado, sendo este determinado de acordo com as características apresentadas pela amostragem.

A perda de água por evaporação não será considerada, assim como recomenda a NBR 15.527/07. A mesma norma também recomenda que seja admitido que o reservatório esteja cheio no início da contagem do tempo “t” de cada simulação. Todavia, as simulações serão

realizadas com o reservatório estando inicialmente vazio, e então avaliado se há diferença entre as duas considerações.

3.7 Confiabilidade do reservatório

De acordo com Cohim (2013), a confiabilidade representa o percentual de dias em que a demanda é plenamente atendida em um dado período de análise, assim, podemos descrever a confiabilidade como a razão entre o número de falhas e a quantidade de dias que ocorreu a simulação, de acordo com a equação 10. É nesse aspecto que cada metodologia será avaliada, afim de que se possa determinar qual método apresenta melhores resultados de confiabilidade.

$$C = 1 - Pf; \quad \text{Equação 10}$$

$$Pf = (F / P) \times 100 \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

C é a confiança do reservatório;

Pf é a porcentagem de falhas;

F é a quantidade de falhas que houve no período analisado;

P é o tamanho da série analisada.

Analogamente a porcentagem de falhas, também se determinou a porcentagem de extravasamentos que ocorreu em cada simulação, através da equação 12:

$$Pex = (E / P) \times 100 \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

Pex é porcentagem de extravasamento;

E é a quantidade de extravasamentos em um determinado período analisado.

3.8 Dimensionamento da área de captação

As áreas de captação utilizada nas simulações, foram obtidas através dos dados estatísticos dos beneficiários do P1MC em Delmiro Gouveia. Todavia, será realizado o dimensionamento da área de captação utilizando a equação 13, recomendada por Brito *et al.*

(2007), e será útil para analisar a diferença entre a área necessária para atender uma determinada demanda, e a área de telhado das residências.

$$Ac = \frac{Vnec}{Pmed \times C} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

Ac é a área de captação em m²;

Vnec é o volume de água consumido pela família em m³;

Pmed é a precipitação média dos anos mais secos em mm;

C é o coeficiente de escoamento superficial.

3.9 Análise de Confiabilidade das cisternas do P1MC

Diante da importância do programa P1MC na implantação de cisternas no Semiárido brasileiro, optou-se em também simular o comportamento das cisternas de 16.000 litros que são fornecidas as famílias independentemente do número de moradores em cada residência.

3.9.1 Relação Confiabilidade versus Área de captação

Com os resultados de diversas simulações com a cisterna de 16.000 litros, foi construído um gráfico onde cada curva representa a variação de confiabilidade de cada demanda em função da área de captação.

3.9.2 Relação Confiabilidade versus Capacidade de reservação

Em seguida, obteve-se um gráfico onde cada curva representa a variação de confiabilidade de cada demanda, em função da capacidade de armazenamento da cisterna.

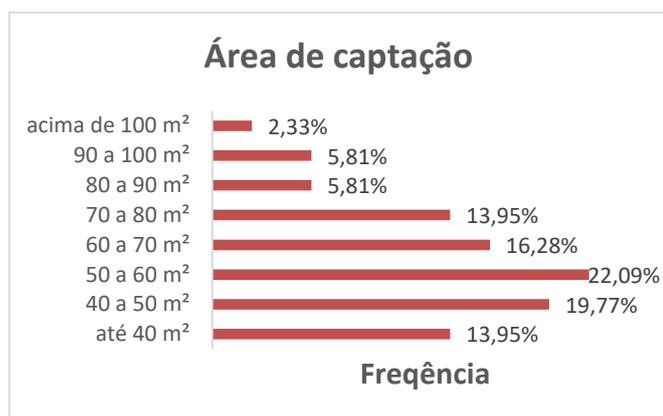
3.10 Definição de faixas de volume por demanda

Por fim, analisando os gráficos obtidos, estimar faixas de volumes para diferentes demandas, afim de que se possa aumentar a eficiência do programa P1MC, garantindo que todos os beneficiários possam usufruir de todo o potencial que a cisterna pode oferecer.

4.0 RESULTADOS OBTIDOS

Analisando os dados das 195 cisternas fornecidos pela COPPABACS, construiu-se o gráfico 1 que apresentam a distribuição de áreas de telhado por residência. Observou-se que a média de área de telhado foi de 61,5 m², e que em 100% dos casos a área de captação tem superfície inferior a 120 m². Em contrapartida 13,95 % das residências não tem área de telhado maior que 40 m². A ASA (Articulação Semiárido Brasileiro) tem adotado como uma de suas diretrizes não instalar cisternas onde a área de captação seja inferior a 40 m². Sendo assim, foi adotado como limites para as simulações, áreas entre 40 m² a 120 m². Além destes, foram utilizados nas simulações áreas de captação com 50, 60, 70, 80, 90 e 100 m².

Gráfico 1: Distribuição de áreas de telhados das 195 cisternas implantadas



Com os dados da amostragem também foi possível construir o gráfico 2, no qual apresenta a variabilidade do número de indivíduos por residência. O valor médio do número de moradores é de 5, com 99% dos casos abaixo de 10. Optou-se por utilizar faixas de moradores para a estimativa das demandas, variando de 2 a 10 moradores por residência.

Gráfico 2: Distribuição de moradores por residência



Relacionando o número de moradores com a área de cobertura das casas, determinou-se a área média de cobertura por faixas de moradores (ver tabela 7). Vemos que até 5 moradores, as residências possuem em média uma área disponível de cerca de 65 m², em contrapartida quando cresce o número de moradores para 6 ou mais residentes, a área média disponível cai para cerca de 52 m².

Tabela 7: Número de moradores *versus* Área média disponível de captação

Número de moradores	Área média de cobertura (m ²)
Até 3	64,94
De 4 A 5	64,43
De 6 A 8	51,27
Acima de 9	52,23

Analisando os resultados dos gráficos 1 e 2 definiu-se as diversas combinações (ver tabela 8) de número de moradores e área de captação, que foram utilizadas nas simulações, com volume de reservação definida de acordo com cada método avaliado. Apesar dos dados dos beneficiários mostrar que a área decresce conforme aumenta o número de moradores, foi preferível utilizar maiores áreas de captação para maiores demandas pois, a área disponível para captação é um fator fundamental na eficiência do reservatório.

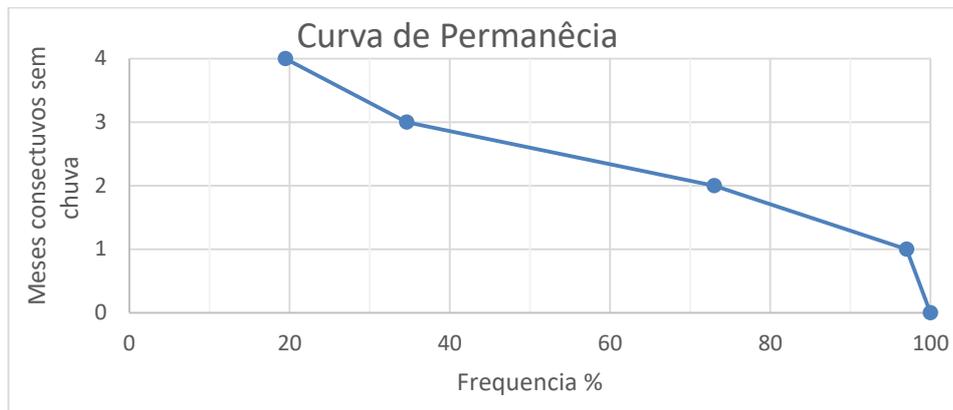
Tabela 8: Combinações utilizadas para simulações dos reservatórios

Número de moradores	Área de telhado (m ²)
2	40
	50
	60
4	70
	80
	90
6	90
	100
	120
8	100
	120
10	100
	120

Pôde-se observar através dos dados dos beneficiários, que 100% das residências possuem coberturas com telhas cerâmicas comuns, sendo assim, foi adotado o coeficiente de Runoff igual a 0,8 para todas as simulações.

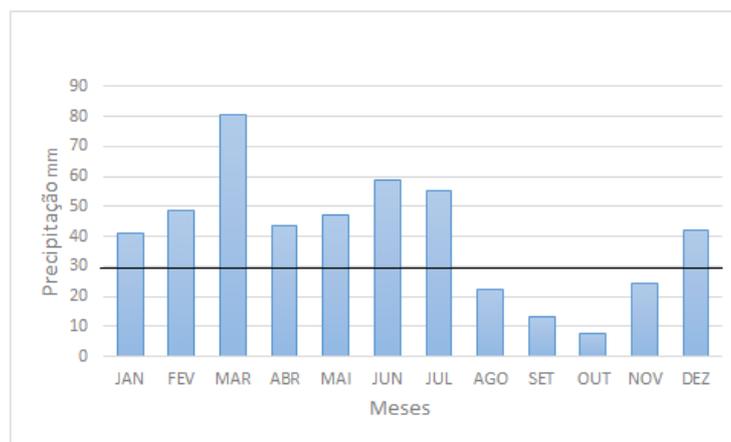
A partir da curva de permanência (gráfico 3), verificou-se que a probabilidade de haver no mínimo três meses consecutivos sem chuva por ano é cerca de 35 %, enquanto que as chances de haverem pelo menos quatro meses consecutivos é de aproximadamente 20%. Para uma melhor análise, optou-se em utilizar o máximo período de 4 meses (120 dias) consecutivos sem chuva, e um período mais conservador de 3 meses (90 dias) para dimensionar o volume das cisternas pelo método do Maior Período de Estiagem.

Gráfico 3: Curva de permanência dos meses consecutivos com pouca chuva em Delmiro Gouveia



Considerando meses com pouca chuva, aqueles que apresentam precipitação inferior a 30 mm, encontrou-se o valor médio de cerca de 7 meses por ano, sendo este um dos períodos utilizados para dimensionar as cisternas pelo método de Azevedo Neto. Contudo, analisando as médias históricas de cada mês (ver gráfico 4), optou-se também em realizar simulações com o período igual a 4 meses por ano.

Gráfico 4: Precipitação média mensal



Utilizando os métodos de dimensionamento avaliados, calculou-se o volume necessário para cada cisterna, de acordo com cada combinação de número de moradores e área de captação, como pode ser visto na tabela 9.

Tabela 9: Volume das cisternas de acordo com os métodos avaliados

Volume das Cisternas (Litros)														
Número de moradores		2			4			6			8		10	
Área de telhado		40	50	60	70	80	90	90	100	120	100	120	100	120
Método	Azevedo Neto com T = 4 meses	3.500	4.300	5.200	6.000	7.000	7.800	7.800	8.600	10.300	8.600	10.300	8.600	10.300
	Azevedo Neto com T = 7 meses	6.000	7.500	9.000	10.510	12.010	13.510	13.510	15.010	18.010	15.010	18.010	15.010	18.010
	Prático Alemão	900	900	900	1.800	1.800	1.800	2.300	2.500	2.700	2.500	3.000	2.500	3.000
	Prático Inglês	1.100	1.300	1.600	1.800	2.100	2.300	2.300	2.600	3.100	2.600	3.100	2.600	3.100
	Maior Período de Estiagem com N= 90 dias	3.600	3.600	3.600	7.200	7.200	7.200	10.800	10.800	10.800	14.400	14.400	18.000	18.000
	Maior Período de Estiagem com N= 120 dias	4.800	4.800	4.800	9.600	9.600	9.600	14.400	14.400	14.400	19.200	19.200	24.000	24.000
	Rippl	2.600	2.200	1.900	5.600	5.100	4.700	9.600	8.800	7.600	18.000	12.800	31.300	24.200

Realizando as simulações do balanço hídrico no reservatório, através do algoritmo desenvolvido no Matlab®, foi obtido a confiabilidade de cada cisterna dimensionada, de acordo com o número de dias em que as demandas foram plenamente atendidas. A tabela 10 apresenta os resultados de confiança de cada método de dimensionamento, para cada uma das combinações consideradas. Também foi realizado simulações com a cisterna de volume único de 16.000 litros, utilizada pelo P1MC.

Durante as simulações constatou-se que a diferença entre o reservatório cheio ou vazio no início da contagem do tempo “t”, não atinge nem 1% de variação nos resultados de confiabilidade das cisternas, devido a extensão da série histórica utilizada, 9.502 dias. Sendo assim, optou-se em adotar as cisternas estando inicialmente vazias em todas simulações.

Tabela 10: Confiabilidade das cisternas de acordo com os métodos avaliados

Confiabilidade das Cisternas														
Número de moradores		2			4			6			8		10	
Área de telhado		40	50	60	70	80	90	90	100	120	100	120	100	120
Método	Azevedo Neto com T = 4 meses	81,00%	90,00%	94,39%	74,00%	81,00%	86,20%	66,10%	71,57%	80,65%	56,54%	66,00%	45,86%	54,61%
	Azevedo Neto com T = 7 meses	89,60%	95,73%	98,68%	83,08%	89,62%	93,25%	73,62%	80,17%	89,62%	62,27%	73,62%	49,64%	60,00%
	Prático Alemão	55,19%	63,13%	66,00%	56,60%	59,19%	61,38%	50,75%	54,18%	59,20%	43,87%	50,36%	35,89%	42,46%
	Prático Inglês	62,25%	68,72%	75,15%	56,58%	61,55%	65,04%	50,75%	54,77%	61,28%	44,30%	50,89%	36,14%	42,87%
	Maior Período de Estiagem com N= 90 dias	81,50%	87,16%	89,96%	77,28%	81,50%	84,70%	70,58%	75,50%	81,50%	61,90%	70,59%	50,30%	60,00%
	Maior Período de Estiagem com N= 120 dias	86,56%	91,45%	93,67%	81,93%	86,56%	89,60%	74,40%	79,64%	86,55%	63,88%	74,42%	50,45%	61,72%
	Rippl	75,62%	77,86%	78,16%	72,82%	75,34%	77,00%	69,00%	72,00%	75,30%	63,50%	69,00%	50,40%	61,70%
	P1MC	97,73%	99,81%	99,81%	87,40%	93,04%	95,16%	75,35%	80,90%	88,07%	62,72%	72,17%	49,93%	59,00%

Analisando a tabela 9 e 10, vemos que:

- Os métodos Prático Alemão e Prático Inglês forneceram volumes mais conservadores, com capacidades inferiores a 4.000 litros, obtendo os menores resultados de confiabilidade dentre todos os métodos avaliados;
- Com relação aos métodos de Azevedo Neto e o de Maior Período de Estiagem, estes, quando foram calculados utilizando um maior período sem chuvas, resultou em um superdimensionamento das cisternas, garantindo uma alta confiabilidade na maioria dos casos analisados;
- Quando foi empregado períodos mais curtos de estiagem, tanto o método de Azevedo Neto, quanto o método de Maior Período de Estiagem, forneceram volumes com capacidades intermediárias, e bons resultados de confiabilidade. No método de Azevedo Neto houve uma redução em média de 42% no volume da cisterna, enquanto que sua confiabilidade reduziu em no máximo 9%. Já o método de Maior Período de Estiagem, houve uma redução de 25% do volume das cisternas, em compensação sua confiabilidade reduziu em no máximo 5%;
- O método de Rippl forneceu capacidades medianas de reservação, sem haver grandes reduções na sua confiabilidade. Por ser um método simulativo, ofereceu bons resultados quando potencial de captação é suficiente para atender a demanda. Contudo, quando essa proporcionalidade não ocorre, o método tenta compensar essa desproporção, elevando a capacidade das cisternas, resultando em um superdimensionamento do reservatório;

- A cisterna do P1MC, que tem volume único, obteve resultados distintos de acordo com a demanda. Nos casos em que a demanda é baixa, a confiabilidade é alta devido o volume ser muito maior que o necessário. Para as demandas intermediárias, faixa de consumo na qual foi dimensionada, obteve confiabilidades próximas do que o programa espera atender. E nas combinações com demanda alta, a cisterna teve sua confiabilidade reduzida;
- Para os casos em que a demanda foi muito maior que a área de captação disponível, todos métodos apresentaram baixa confiabilidade.

Analogamente, através das simulações também se obteve a porcentagem de falhas por extravasamento durante o período analisado, ou seja, a porcentagem de dias em que houve transbordamento das cisternas (ver tabela 11).

Tabela 11: Falhas das cisternas por extravasamentos

Falhas das Cisternas por Extravasamento														
Número de moradores		2			4			6			8		10	
Área de telhado		40	50	60	70	80	90	90	100	120	100	120	100	120
Método	Azevedo Neto com T = 4 meses	3,30%	4,50%	6,10%	2,67%	3,30%	3,93%	2,00%	2,40%	3,30%	2,00%	1,40%	0,80%	1,30%
	Azevedo Neto com T = 7 meses	2,20%	4,10%	5,60%	1,50%	2,16%	3,17%	1,00%	1,35%	2,17%	0,50%	1,00%	0,20%	0,50%
	Prático Alemão	5,37%	7,10%	8,30%	4,40%	5,40%	6,40%	3,80%	4,22%	5,40%	3,10%	3,80%	2,40%	3,00%
	Prático Inglês	5,10%	6,44%	7,55%	4,40%	5,20%	5,90%	3,80%	4,14%	5,20%	3,00%	3,77%	2,33%	3,00%
	Maior Período de Estiagem com N= 90 dias	3,18%	4,92%	6,43%	2,31%	3,20%	4,00%	1,37%	1,94%	3,20%	0,60%	1,37%	0,10%	0,40%
	Maior Período de Estiagem com N= 120 dias	2,70%	4,40%	6,14%	1,60%	2,69%	3,55%	0,87%	1,38%	2,69%	0,34%	0,87%	0,00%	0,20%
	Rippl	3,80%	5,70%	7,30%	2,71%	3,80%	4,68%	1,60%	2,30%	3,80%	0,40%	1,60%	0,00%	0,20%
	P1MC	0,90%	3,40%	5,46%	0,86%	1,82%	2,96%	0,80%	1,20%	2,40%	0,45%	1,20%	0,16%	0,64%

Pela tabela 11, vemos que as cisternas obtidas pelo método Prático alemão e pelo método Prático Inglês, foram as que mais extravasaram nas simulações, devido as suas capacidades modestas de reservação. Quanto aos métodos de Azevedo Neto e Maior Período de Estiagem, a redução dos volumes das cisternas devido a minoração do período de pouca chuva, causou no máximo 2% de aumento no extravasamento. Para os casos em que a demandas são elevadas, em todas as cisternas praticamente não ocorre extravasamento, devido à falta de área de captação para atender a demanda, tornando as cisternas ociosas.

A tabela 12 indica quais os métodos que tiveram bons resultados para cada cenário criado. Vemos que ambos os métodos de Azevedo Neto, Maior Período de Estiagem e Rippl, apresentam

bons resultados quando há uma proporcionalidade entre área de captação e demanda (cenários 1, 2, 5, 6 e 9). Entretanto quando a demanda é muito maior que a área de captação, apenas o método de Azevedo Neto é mais indicado (cenários 10, 11, 12 e 13). Por outro lado, quando a área de captação é mais do que suficiente para atender a demanda, os métodos de Rippl e o de Maior Período de Estiagem fornecem melhores resultados (cenário 3).

Tabela 12: Métodos mais indicados para cada cenário

Cenários	Número de moradores	Área de telhado (m ²)	Método
1	2	40	Rippl, Azevedo Neto, M.P.E*
2		50	Rippl, Azevedo Neto, M.P.E
3		60	Rippl, M.P.E
4	4	70	Rippl, Azevedo Neto
5		80	Rippl, Azevedo Neto, M.P.E
6		90	Rippl, Azevedo Neto, M.P.E
7	6	90	Rippl, Azevedo Neto
8		100	Rippl, Azevedo Neto
9		120	Rippl, Azevedo Neto, M.P.E
10	8	100	Azevedo Neto
11		120	
12	10	100	Azevedo Neto
13		120	

*M.P.E (Maior Período de Estiagem)

Diante da realidade apresentada pelos dados coletados dos beneficiários do P1MC no município de Delmiro Gouveia, também foram feitas simulações com a cisternas de 16.000 litros, utilizando a área média de telhado encontrada para cada faixa de consumo, como pode ser visto na tabela 13. Os resultados mostram que a cisterna atende de forma satisfatória quando às famílias possuem até 4 moradores por residência. Entretanto, nas residências com 5 ou mais moradores, que representa cerca de 40% dos casos, a confiabilidade das cisternas é muito baixa, principalmente devido a limitação da área de telhado disponível.

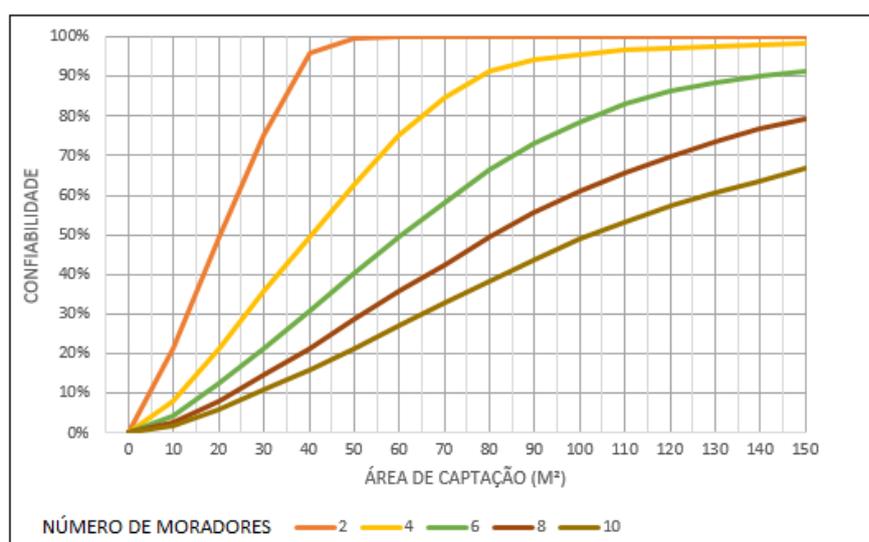
Tabela 13: Confiabilidade da cisterna do P1MC

Cisterna de 16.000 litros						
Área média de telhado (m ²)	65			53		
Número de moradores	2	4	5	6	8	10
Confiabilidade	99,8%	82,6%	67,5%	43%	30,5%	22,7%

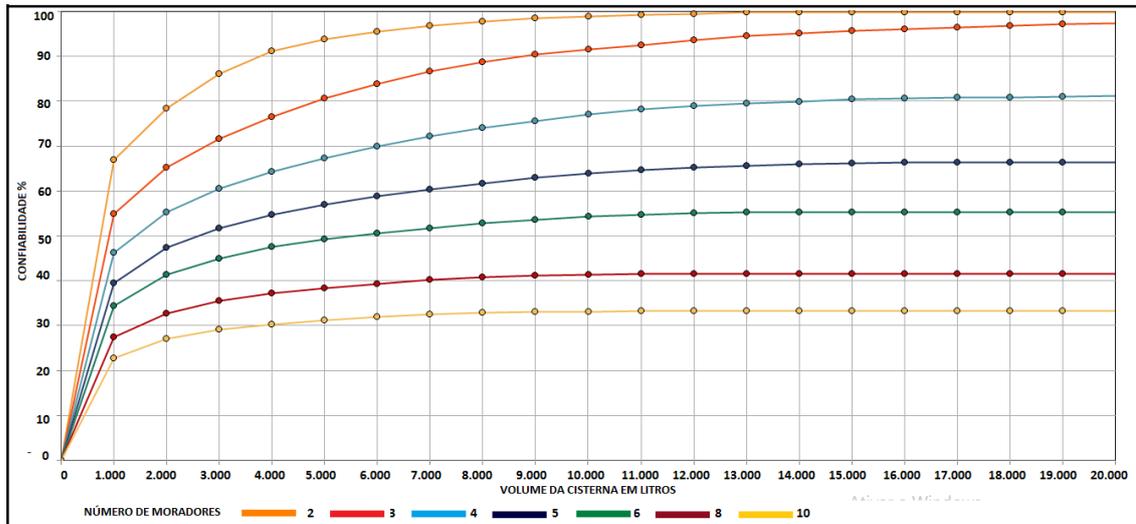
Com os dados históricos de chuva obteve-se o valor de 390 mm como precipitação média para os piores anos de pouca chuva, e assim, utilizando a equação 13, chegou-se a uma área de 23,4 m²/pessoa para atender uma demanda de 20 litros diários ao longo de todo o ano.

Com os resultados das simulações foi possível construir o gráfico 5, no qual apresenta a confiabilidade da cisterna de 16.000 litros no atendimento das demandas, de acordo com a variação da área de captação. Pode-se observar que o aumento da área de captação resulta em maiores confiabilidades, em contrapartida a confiabilidade decresce à medida que se aumenta o número de moradores. Vemos ainda que, para as demandas de até 6 moradores, a confiabilidade acima de 80% pode ser obtida com áreas inferiores a 100 m², enquanto que para faixa de consumo superiores a 8 moradores, são necessárias áreas superiores a 150 m² para se obter bons resultados de confiabilidade.

Gráfico 5: Confiabilidade x Área de captação para a cisterna de 16.000 litros



O gráfico 6 apresenta confiabilidade de uma cisterna em função de sua capacidade, para as diferentes demandas, com a área de captação de 65 m² obtida na amostragem. Esta é a área média de cerca de 76% das residências presentes na amostragem. Vemos que, para uma faixa de consumo de até 3 moradores (41% dos casos), uma cisterna com capacidade para 5.000 litros garante uma confiabilidade de pelo menos 80%. A partir de 4 moradores por residência, a área de captação deixa de ser satisfatória para atender o aumento da demanda, dessa forma, uma cisterna com volume superior a 10.000 litros praticamente não acrescenta nenhum aumento na confiabilidade, evidenciando que para maiores demandas, a cisterna de 16.000 litros se torna ociosa, por não haver potencial de captação suficiente.

Gráfico 6: Confiabilidade de uma cisterna com área de captação de 65m²

Das análises feitas até aqui, uma alternativa para aumentar a eficiência do PIMC, seria estimar faixas de volume de acordo com cada demanda. A tabela 14 compara confiabilidade da cisterna de 16.000 litros, com outras de volumes reduzidos de acordo com cada demanda. Assim, definiu-se cisternas de 5.000 litros, para até 3 moradores, cisternas de 8.000 litros para residências com 4 moradores, e cisternas com 11.000 litros para famílias acima de 5 pessoas.

Tabela 14: Cisternas por faixa de demanda versus Cisternas de volume único

Número de moradores	Cisterna com volumes variados			Cisterna de volume único		
	Vol. (litros)	Área (m ²)	Confiabilidade	Vol. (litros)	Área (m ²)	Confiabilidade
3	5.000	65	80%	16.000	40	70%
4	8.000	65	75%	16.000	50	65%
5	11.000	65	65,5%	16.000	65	67,5%
8	11.000	65	41%	16.000	65	41%

A tabela 15 apresenta em resumo as faixas de volume por demanda. Foram definidos três tipos de volume, destacando que acima de 5 moradores não compensa aumentar a capacidade do reservatório devido a limitação da área de captação.

Tabela 15: Faixas de volume por demanda

Número de moradores	Volume das cisternas (litros)
Até 3	5.000
4	8.000
Acima de 5	11.000

5.0 CONCLUSÕES

Da análise apresentada, podemos destacar que os diversos métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais podem apresentar resultados distintos conforme as características pluviométricas da região. Para o estudo de caso realizados no município de Delmiro Gouveia, podemos destacar as seguintes conclusões a respeito de cada método analisado:

- Os métodos Prático Alemão, e Prático Inglês apresentaram volumes conservadores, sendo estes mais indicados para regiões onde a variabilidade pluviométrica é menor, e/ou quando não seja necessário suprir toda demanda, ou exista outras alternativas de abastecimento para complementar a demanda, ou até mesmo quando seja preferível reduzir custos de implantação de um reservatório com maior capacidade;
- Os métodos de Azevedo Neto e o de Maior Período de Estiagem, podem resultar em um superdimensionamento das cisternas, quando se deseja suprir a demanda por longos períodos de estiagem. Entretanto utilizando períodos mais conservadores, ambos os métodos apresentam resultados satisfatórios, com significativa redução de seu volume, sem que haja grandes perdas de confiabilidade;
- O método de Azevedo neto não utiliza a demanda como parâmetro para o seu dimensionamento, por isso, se o potencial de captação for muito maior que a demanda, pode resultar num reservatório com capacidade além do necessário. Por outro lado, o método apresenta os melhores resultados quando o potencial de captação é inferior a demanda, situação mais presente na maioria dos casos apontados pelos estudos realizados neste trabalho;
- O método de Maior Período de Estiagem não leva em consideração a área de captação em seu dimensionamento, o que pode levar a resultados ineficientes quando a demanda é muito maior que o potencial de captação. Neste trabalho mostrou ser um método eficiente se o objetivo for armazenar grandes quantidades de água para suprir os períodos de seca;
- O método de Rippl apresentou os resultados mais consideráveis se levar em consideração que seu dimensionamento resulta em cisternas com capacidades intermediárias, sendo este o método mais indicado dentre os avaliados, levando em conta o fator econômico. Entretanto, vale ressaltar que sua metodologia tem uma relação

inversamente proporcional entre área de captação e demanda, o que pode levar a cisternas de grandes dimensões se caso a área de captação for muito menor do que a área necessária para o atendimento da demanda.

Dos métodos avaliados pode-se concluir que a escolha mais adequada depende essencialmente da região de implantação das cisternas, e dos fatores que serão levados em consideração para construção de um sistema de aproveitamento de água pluvial, sendo importante destacar a necessidade de uma maior avaliação entre área de captação e demanda, para que se possa determinar o método mais apropriado para cada situação.

Com relação a cisterna adotada pelo P1MC (Programa Um Milhão de Cisternas), este trabalho mostrou que a utilização de um volume único independente das diversidades de características encontradas nos beneficiários do programa, seja pela variabilidade de moradores de uma residência, pelos diversos tamanhos de áreas de captação, e também pela variabilidade pluviométrica da região, faz com que P1MC não consiga atingir seu objetivo de forma eficaz, que é fornecer uma alternativa de abastecimento de qualidade para as famílias do semiárido.

Pode-se concluir que o emprego de cisternas com volume único de 16.000 litros leva na maioria dos casos a duas situações. No primeiro, o volume é muito superior ao atendimento da demanda considerada pelo programa. No segundo, a cisterna torna-se ociosa por não haver potencial de captação suficiente para atender a demanda.

Como alternativa para tornar o programa mais eficiente, recomenda-se o emprego de faixas de volumes proporcionais à demanda a ser atendida. Para o caso do município de Delmiro Gouveia, o estudo mostrou que seria necessários volumes com capacidades de 5.000 litros para famílias de até 3 moradores, 8.000 litros, para atender famílias com 4 moradores, e 11.000 para famílias acima de 5 moradores, considerando uma demanda de 20 litros diários ao longo de todo ano. O programa poderia incluir como parte de suas ações, ampliar a área de captação para uma maior eficiência das residências que não dispõem de potencial de captação suficiente.

6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACB, Associação Cristã de Base. *Cisterna Chapéu de Pe. Cícero*. Disponível em: <http://www.acbrato.org/#!imprensa/c1rno>. Consultado em 23/07/2016.

AMORIM, M. C. C.; PORTO, E. R. *Considerações sobre controle e vigilância da qualidade de água de cisternas e seus tratamentos*. 2003.

AMORIM, S. V. de; ANDRADE PEREIRA, D. J. de. *Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial*. Ambiente Construído, 2008.

ANDRADE, S. L. P. de; SILVA, T. A. P. da. *Dimensionamento de Cisternas Tipo Calçada Associado à Variabilidade Pluviométrica do Município de Delmiro Gouveia – Al*. 2015.

ANDRADE NETO, C. O. de. *Segurança sanitária das águas de cisternas rurais*. Proceedings of the XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004.

ANNECCHINI, K. P. V. *Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)*. Vitória (ES), 2005.

ASA. *Tecnologias Sociais Para Convivência Com o Semiárido: Série Estocagem de Água para Produção de Alimentos*. Ed. Recife, 2014

ASA. *Articulação do Semiárido Brasileiro*. Disponível em www.asabrasil.org.br. Acesso em 04/09/2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527. *Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos Instalações prediais de águas pluviais*. Novembro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.844. *Instalações prediais de águas pluviais*. Dezembro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.217. *Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público*. Julho, 1994.

BLACKBURN, D. M.; BUSTAMANTE, Y.; JALFIM, F.; VIANA, A. A.; JUNIOR, M.F.; LIMA, M. *Avaliação de potabilidade da água na região de atuação da Diaconia no semi-árido nordestino*. Diaconia, 2005.

BRITO, L. T. de L.; SILVA, A. de S. *Água de chuva para consumo humano e produção de alimentos*. Belo Horizonte. Julho 2007.

BRITO, L. T. de L.; SILVA, A. de S.; PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C. de; LEITE, W. de M. *Cisternas domiciliares: Água para consumo humano*. Embrapa Semiárido. Petrolina. 2007.

COHIM, E.; GARCIA, A.; KIPERSTOK, A. *Captação e aproveitamento de água de chuva: dimensionamento de reservatórios*. Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2008, 9

COHIM, E. "O volume único das cisternas rurais é adequado?" Apresentação oral no XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, 11

DEHGHANI-SANIJ, A.; SAYIGH, A. *Cisterns: Sustainable Development, Architecture and Energy*. Delf: River Publishers, 2016.

DIACONIA. *Construção da Cisterna Calçadão 52.000 litros. Convivendo com o Semiárido*. Série Compartilhando Experiências nº 5. Programa de Apoio à Agricultura Familiar – PAAF. Recife – PE, 2008.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido, Petrolina, PE. *Captação e conservação de água da chuva para consumo humano: Cisternas Rurais*. Embrapa-CPATSA/Sudene, 1984.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. Banco de Tecnologias Sociais - Cisterna Chapéu do pe. Cícero. Disponível em: <http://www.fbb.org.br/tecnologiasocial/banco-de-tecnologias-sociais/pesquisar-tecnologias/detalhar-tecnologia-135.htm>. Acesso em: 27/07/2016

GEO BRASIL Recursos Hídricos. Componente da Série de Relatórios sobre o Estado e Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Agencia Nacional de Águas – ANA, janeiro de 2007.

GNADLINGER, J. *Água de chuva no manejo integrado dos recursos hídricos em localidades semiáridas: aspectos históricos, biofísicos, técnicos, econômicos e sociopolíticos*. Campina Grande: ABCMAC, 2015

GNADLINGER, J. *Apresentação técnica de diferentes tipos de cisternas, construídas em comunidades rurais do Semiárido brasileiro*. 1º SIMPÓSIO SOBRE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO, 1997.

GNADLINGER, J. *Captação de Água de Chuva para Uso Doméstico e Produção de Alimentos: A Experiência do Estado de Gansu no Norte da China*. 3º Simpósio sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva. Campina Grande: ABCMAC, 2001.

GNADLINGER, J. *Tailândia para o Semiárido Brasileiro: Lições de um projeto de captação de Água de Chuva em larga escala*, Anais do 7º Simpósio de Captação e Manejo de Água de Chuva, Caruaru – PE, 2009.

GROUP RAINDROPS. *Aproveitamento da água da chuva*. Curitiba: Organic Trading , 2002

HAGEMANN, S. E. *Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso*. 2009.

HEIJNEN, H. *A Captação de Água da Chuva: Aspectos de Qualidade da Água, Saúde e Higiene*. 8º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Campina Grande – PB. 2012.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Atlas de Saneamento*. Rio de Janeiro. 2011

JALFIM, F. T.; JÚNIOR, M. F.; BUSTAMANTE, Y. R.; FERNANDES, A. C.; RIBEIRO, O.; NETO, L. M.; NETO, J. E.; PAIVA, I.; BLACKBURN, D. M.; LIMA, M. de S.; ÁVILA, J. I. de S. L. *Cisterna de placas “Calçadão”: uma alternativa para a captação e armazenamento da água de chuva de escoamento no nível do solo*. 2003.

JAQUES, R. C. *Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações*. PhD Thesis. Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

LEITE, A. E. de B. *Simulação do lançamento de esgotos domésticos em rios usando um modelo de qualidade d'água, SisBahia*. PhD Thesis. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. 2004

- MALVEZZI, Roberto, *et al.* *Água nos agroecossistemas: aproveitando todas as gotas*. 2010
- MANSO, J. M. *Conservación de suelos y restauración de la vegetación mediante técnicas tradicionales de recolección de agua*. Janeiro, 2009.
- MOURA, M. S. B. de; GALVINICIO, J. D.; BRITO, L. T. de L.; SOUZA, L. S. B. de; SÀ, I. I. S.; SILVA, T. G. F. da. *Clima e água de chuva no semiárido*. 2007.
- NEBEL, B.J. e WRIGHT, R.T. *Environmental Science*. 7a. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2000. In: GRASSI, M.T. *As Águas do Planeta Terra*. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola, Maio 2011.
- PHILIPPI, L.S. *et al.* *Aproveitamento da água de chuva*. In: GONÇALVES, R.F. (Org.). *Uso racional da água em edificações*. Rio de Janeiro: ABES - PROSAB, 2006.
- REICHARDT, K; TIMM, L.C. *Solo Planta e Atmosfera*, 2º ed. – Barueri, SP: Manole, 2012
- RESENDE, A. V. de. *Agricultura e qualidade da água: Contaminação da água por nitrato*. Planaltina: Embrapa Cerrado. 2002.
- RODRIGUES, H. K., *et al.* *Dispositivo automático de descarte da primeira água de chuva*. 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de Chuva. Belo Horizonte, 2007.
- SANTIAGO, V., STROHMANN, C. & KHAKA, E., *Rainwater harvesting - The Thai Rainwater jar. Source book of alternative technologies for freshwater augmentation in some countries in Asia*. UNEP, 1998.
- SCHISTEK, H. *Formação histórico-geográfica do semiárido brasileiro*. Juazeiro: IRPPA, 2005.
- SILVA. A. de S.; BRITO, L. T. de L. & ROCHA, H.M. *Captação e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro: cisternas rurais II; água para consumo humano*. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1984. (EMBRAPA-CPATSA. Circular técnica, 12).
- SILVA. A. de S.; BRITO, Luiza Teixeira de Lima; & ROCHA, H.M. *Captação e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro: cisternas rurais II; água para consumo humano*. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1988. (EMBRAPA-CPATSA. Circular técnica, 16).
- SILVA, R. M. A. da. *Entre o Combate à Seca e a Convivência com o Semi-Árido: políticas públicas e transição paradigmática*. Revista Econômica do Nordeste. Fortaleza, 2007.
- SILVA, C. V. da; HELLER, L.; CARNEIRO, M. *Cisternas para armazenamento de água de chuva e efeito na diarreia infantil: um estudo na área rural do semiárido de Minas Gerais*. Rev. Eng. Sanit. Ambient, 2012.
- SPERLING, M. Von - *Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. DESA/UFGM, Belo Horizonte/MG, 2014.
- TOMAZ, P. *Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis*. Fevereiro, 2009.
- WHITLEY, J. *Archaeology in Greece*. Archaeological reports, 2005.
- XAVIER, R. P. *Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano*. Campina Grande: UFCG, 2010.