



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Centro de Tecnologia e Geociências

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Sérgio Henrique Braga de Souza

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE BARREIRAS SANITÁRIAS
EM SISTEMAS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE
CHUVA NO SEMI-ÁRIDO PERNAMBUCANO**

Orientadora: Prof^a Dra. Suzana Maria Gico Lima Montenegro

Co-orientadora: Prof^a Sylvana Melo dos Santos

Dissertação de Mestrado

Recife – PE – Brasil

Março de 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

Centro de Tecnologia e Geociências

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Sérgio Henrique Braga de Souza

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE BARREIRAS SANITÁRIAS
EM SISTEMAS PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS DE
CHUVA NO SEMI-ÁRIDO PERNAMBUCANO**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof^ª Dra.Suzana Maria Gico Lima Montenegro

Co-orientadora: Prof^ª Dra.Sylvana Melo dos Santos

Recife – Pernambuco – Brasil

Março de 2009

S729a Souza, Sérgio Henrique Braga de

Avaliação da eficácia de barreiras sanitárias em sistemas para aproveitamento de águas de chuva no semi-árido pernambucano / Sérgio Henrique Braga de Souza. - Recife: O Autor, 2009.
xiii, 179 folhas, il : tabs., grafs., figs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2009.

Inclui Bibliografia.

1. Engenharia Civil. 2. Cisternas. 3. Modelos piloto 4. Água de chuva. 5. Semi-árido. I Título

UFPE

624 CDD(22ed.)


BCTG/ 2009-062

**AVALIAÇÃO DA EFICÁCIA DE BARREIRAS SANITÁRIAS EM
MODELOS PILOTO PARA CAPTAÇÃO DE ÁGUAS DE
CHUVA NO SEMI-ÁRIDO PERNAMBUCANO**

Sérgio Henrique Braga de Souza

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL


Aprovada por:



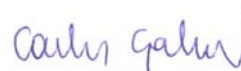
Suzana Maria Gico Lima Montenegro, Ph. D.
(Orientador)



Sylvana Melo dos Santos, D. Sc.
(Co-Orientador)



Sávaia Gavazza dos Santos Pessôa, D. Sc.
(Examinador Interno)



Carlos de Oliveira Galvão, D. Sc.
(Examinador Externo)

Recife, PE – Brasil
Março de 2009

Dedico:

Aos meus pais, Sérgio e Edna Braga;

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais que muito me ajudaram nesta jornada;

À minha esposa Anny Caroline pelo apoio durante esses dois anos em que me dediquei ao Mestrado;

Às professoras Suzana Montenegro e Sylvana Melo dos Santos pela sua orientação e dedicação a este trabalho;

À professora Sávia Gavazza dos Santos Pessoa e toda a sua equipe pela sua importante participação neste trabalho;

Ao CNPq/CT-Hidro pela bolsa concedida, bem como o apoio financeiro do Fundo Setorial de Recursos Hídricos, através do convênio FINEP. Esta pesquisa fez parte do projeto: “Melhoramentos Tecnológicos e Educação Ambiental para a Sustentabilidade dos Projetos de Armazenamento de Água de Chuva em Cisternas no Nordeste Semi-Árido”, o qual teve como proponente a ATECEL – Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Jr. e do qual participaram as entidades: UFCG – Universidade Federal de Campina Grande (executor), UEPB – Universidade Federal da Paraíba (co-executor), UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco (co-executor), EMBRAPA/Semi-Árido – Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (co-executor) e UFPE – Universidade Federal de Pernambuco (co-executor).

Aos colegas e professores do GRH que sempre se mostraram prestativos e presentes, sendo suas participações de relevante importância para a realização deste trabalho;

Aos colegas do Laboratório de Engenharia Ambiental da UFPE, Campus do Agreste, pela participação na obtenção dos resultados de qualidade de água.

RESUMO

O uso de cisternas para abastecimento de água das famílias que moram em regiões de escassez de recursos hídricos constitui uma importante forma alternativa para os moradores dessas localidades, uma vez que se trata de um sistema de captação e armazenamento eficiente que emprega dispositivos simples e de custo acessível. Existindo um regime de chuvas que possibilita o armazenamento dos recursos hídricos em quantidade suficiente para a demanda local de água, pode-se considerar que os problemas observados no uso de cisternas, como fonte de abastecimento alternativo de água, referem-se principalmente à qualidade da água, que geralmente encontra-se fora dos padrões de potabilidade. O presente trabalho dedica-se à proposição de um sistema de captação e armazenamento de águas de chuva a ser empregado na investigação sobre a eficiência das barreiras sanitárias instaladas com a finalidade de manter a qualidade da água armazenada no sistema dentro dos padrões de potabilidade. Para isso foram escolhidas uma escola rural e uma vila de casas conjugadas, ambos no município de Pesqueira, semi-árido de Pernambuco, e instalados dois sistemas para aproveitamento de águas de chuva, dotados de barreiras sanitárias para a melhoria da qualidade da água nas cisternas. Dentre as barreiras sanitárias, foram instalados dois dispositivos de descarte automático das primeiras águas de cada chuva. Um dos dispositivos foi construído usando-se o princípio do fecho hídrico e o outro, o princípio dos vasos comunicantes. Para a investigação, foi realizada uma simulação de chuvas onde foram coletadas amostras em diversos pontos do sistema para verificação da eficácia das barreiras sanitárias com relação aos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos de qualidade da água. Os resultados indicaram que a água das cisternas permaneceu dentro dos padrões de potabilidade exigidos pela portaria 518/04 do Ministério da Saúde. O dispositivo de descarte automático das primeiras águas fundamentado no princípio do fecho hídrico se mostrou mais eficiente que o foi fundamentado no princípio dos vasos comunicantes, porém ambos foram eficazes em melhorar a qualidade da água destinada ao armazenamento (interior da cisterna).

Palavras-chave: Cisternas, Modelos Piloto, Água de Chuva, Semi-árido.

ABSTRACT

The use of cisterns for family water supply in regions under water scarcity situation is an important alternative way for the local inhabitants, whereas this type of system is efficient for rainwater harvesting and storage and is comprised of simple devices, with low cost. Since the rainfall regime allows water storage in sufficient amount for local water supply, one can consider that the problem related to the use of cisterns is concern with water quality issues, with water generally not meeting adequate drinking patterns. This work deals with the design of a simple system for rainwater harvesting and storage (pilot model for rainwater harvesting) to be used for assessing installed sanitary barriers aimed at keep storage water under drinking patterns. For this purpose, pilot models with sanitary barriers were installed in both a rural school and a set of rural houses in Pesqueira municipality, semi-arid of Pernambuco state. Two different water disposal devices were tested, aimed for automatic refusal of the initial rainwater volumes. One of the devices applies the communicant vases principle while the other works as a siphon. For the study, a rainfall event was simulated and water samples were collected in several points of the system for physical-chemical analysis. The results indicated that the storage water in the cistern was in agreement with the patterns from Act 518/04 (Health Ministry). The device for refusal of the first rainwater volumes based on the siphon working principle was observed to be more efficient as compared to the one based on the communicant vases principle. Yet, both device were efficient to ensure good water quality form rainwater havesting.

Key-words: Cisterns, Pilot Model, Rainwater Harvesting, Semi-arid.

SUMÁRIO

RESUMO.....	VII
ABSTRACT	VIII
SUMÁRIO DE FIGURAS	XII
INTRODUÇÃO	14
1.1 RELEVÂNCIA	16
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	16
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 ABORDAGEM HISTÓRICA DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA	17
2.2 ABORDAGEM ATUAL DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA.....	18
2.3 TIPOS DE CISTERNAS	20
2.3.1 <i>Cisternas de placas de cimento</i>	21
2.3.2 <i>Cisternas de tela e arame</i>	21
2.3.3 <i>Cisternas de tijolos</i>	22
2.3.4 <i>Cisternas de cal</i>	23
2.3.5 <i>Cisternas de lona plástica</i>	23
2.3.6 <i>Cisternas utilizando como estrutura básica tela galvanizada de alambrado</i> ..	24
2.3.7 <i>Comparação de custos e tempos de construção dos tipos de cisternas estudados</i>	25
2.4 ÁREAS DE CAPTAÇÃO	25
2.5 DIMENSIONAMENTO DA CISTERNA	26
2.6 QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA E DAS CISTERNAS.....	28
2.7 LEGISLAÇÃO.....	30
2.8 SOLUÇÕES PARA PADRÕES ADEQUADOS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	31
2.8.1 <i>Equipamento de descarte automático das primeiras águas de cada chuva</i>	31
2.8.2 <i>Bomba manual</i>	32
2.8.3 <i>Técnicas de desinfecção</i>	34
2.9 INDICADORES DA QUALIDADE DA ÁGUA	35
2.9.1 <i>Coliformes totais e termotolerantes</i>	35
2.9.2 <i>Bactérias heterotróficas</i>	35

2.9.3	<i>Acidez</i>	35
2.9.4	<i>Alcalinidade</i>	36
2.9.5	<i>Turbidez</i>	36
2.9.6	<i>Alumínio</i>	36
2.9.7	<i>Ferro</i>	36
2.9.8	<i>Cor aparente</i>	37
2.9.9	<i>Condutividade</i>	37
2.9.10	<i>Sólidos dissolvidos</i>	37
2.9.11	<i>pH</i>	37
2.9.12	<i>Oxigênio dissolvido</i>	37
MATERIAL E MÉTODOS		38
3.1	DESCRIBÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	38
3.1.1	<i>Aspectos biogeográficos da área de estudo</i>	38
3.1.2	<i>Geomorfologia</i>	39
3.1.3	<i>Vegetação</i>	40
3.1.4	<i>Hidrografia</i>	40
3.1.5	<i>Precipitação e evapotranspiração</i>	41
3.1.6	<i>Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da região</i>	42
3.2	SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUAS DE CHUVA.....	43
3.2.1	<i>Seleção dos locais de instalação</i>	43
3.2.2	<i>Estudo tudo da disponibilidade hídrica dos locais de instalação dos sistemas</i> 45	
3.2.3	<i>Dimensionamento dos dispositivos de descarte das primeiras águas de cada precipitação</i>	48
3.2.4	<i>Projeto</i>	49
3.2.5	<i>Instalação</i>	50
3.2.6	<i>Experimento</i>	53
RESULTADOS E DISCUSSÕES		59
4.1	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	59
4.1.1	<i>Cloro residual</i>	59
4.1.2	<i>Oxigênio dissolvido</i>	60
4.1.3	<i>Turbidez</i>	61

4.1.4	<i>Cor Aparente</i>	62
4.1.5	<i>Sólidos dissolvidos totais</i>	63
4.1.6	<i>Ferro</i>	64
4.1.7	<i>Alumínio</i>	65
4.1.8	<i>pH</i>	65
4.1.9	<i>Alcalinidade</i>	66
4.2	ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS	67
4.2.1	<i>Bactérias termotolerantes (E. coli)</i>	67
4.2.2	<i>Coliformes totais</i>	67
4.2.3	<i>Bactérias heterotróficas</i>	68
	CONCLUSÕES	70
	RECOMENDAÇÕES	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

SUMÁRIO DE FIGURAS

Figura 1 – Cisterna de Calçadão, no Piauí. Fonte: ASA (2008).....	20
Figura 2 – Esquema de construção de cisternas. Fonte: IRPAA (2008).	22
Figura 3 – Esquema de construção de cisterna de cal. Fonte: IRPAA (2008).	23
Figura 4 – Construção de cisterna usando como estrutura básica tela de alambrado. Fonte: Schistek (2005).	24
Figura 5 - Cisternas alimentadas por diferentes áreas de captação	26
Figura 6 – Desvio das primeiras águas. Fonte: Rodrigues et al. (2007).....	32
Figura 7 – Bomba manual.	33
Figura 8 – Esquema de funcionamento da bomba manual.....	33
Figura 9 – Mapa de Pernambuco destaque para a região agreste e para o município de Pesqueira. Fonte: Wikipedia (2008).	39
Figura 10 Parte do Estado de Pernambuco, destacando o município de Pesqueira. Fonte: SECTMA (2006).	40
Figura 11 – Dados de precipitação e evapotranspiração potencial (ETP) do município de 41	
Figura 12 – Demanda de águas de chuva na região Nordeste. Fonte: IRPAA (2008).	42
Figura 13 – “Açude do Campo”, utilizado pelos moradores de Canela da Ema nos períodos de estiagem.	44
Figura 14 – Edificações selecionadas para as intervenções localizadas em Canela de Ema.	44
Figura 15 – Esquemas dos dispositivos de descarte das primeiras águas de cada precipitação.....	49
Figura 16 – Projeto de instalação do modelo piloto na agrovila.	50
Figura 17 – Projeto de instalação do modelo piloto na Escola.....	50
Figura 18 – Etapas da construção das cisternas.....	51
Figura 19 – Fase de acabamento da obra.....	53
Figura 20 – Esquemas dos tipos de desvio das primeiras águas	53
Figura 21 – Esquema de localização dos pontos de amostragem de água no sistema.	54
Figura 22 – Etapas, antes da simulação da chuva, do experimento.....	56
Figura 23 – Coleta de água do ponto A.....	56
Figura 24 – Simulação da chuva.....	56
Figura 25 – Retirada de amostras de água nos pontos E e E’	57
Figura 26 – Valores obtidos de oxigênio dissolvido (mg/L).....	61

Figura 27 – Valores obtidos de turbidez (UNT).....	62
Figura 28 – Valores obtidos de cor aparente em Unidades de Hazen (uH).....	63
Figura 29 – Valores obtidos de sólidos dissolvidos totais (mg/L).	64
Figura 30 – Valores obtidos de pH.	66
Figura 31 – Valores obtidos de Alcalinidade	67
Figura 32 – Valores obtidos de coliformes totais (NMP).....	68
Figura 33 – Valores obtidos de bactérias heterotróficas (UFC).	69

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A história da humanidade foi bastante influenciada pela disponibilidade hídrica. Basta lembrar que muitas das grandes civilizações só existiram por estarem próximas a grandes rios e nascentes. Atualmente, o crescimento industrial e populacional implica em considerável aumento em demanda por água no mundo e a água torna-se cada vez mais escassa, seja devido ao número cada vez mais crescente de habitantes do planeta ou pela poluição de rios e mananciais que antes poderiam servir para abastecer as cidades.

A distribuição desigual da água no planeta também vem a corroborar com este quadro de escassez. As regiões do hemisfério Norte possuem uma oferta maior de água devido à sua localização geográfica em zonas climáticas mais moderadas (Hermanns, 2002). Já outras regiões do planeta, como as desérticas ou semi-áridas, sofrem bastante com a escassez hídrica. Em um determinado país podem-se ter várias realidades diferentes em relação à disponibilidade de água, caso da China e do Brasil, por exemplo, provocando problemas de logística e encarecendo o abastecimento de água em regiões remotas dos dois países.

Além disso, a ação do homem tem contribuído muito para a degradação da parcela de água doce disponível para consumo humano. No Brasil, por exemplo, têm-se casos de vários rios com trechos totalmente poluídos seja por esgoto doméstico ou industrial (casos do Ipojuca, Capibaribe, Tietê, entre outros). Segundo dados do IBGE (2004), 25% dos domicílios brasileiros não têm acesso à rede de esgoto e não utilizam fossas sépticas, isto é, descartam o esgoto diretamente no meio ambiente ou em corpos d'água, agravando o quadro de poluição. Além disso, as variações climáticas têm resultado, segundo Marengo (2008), em cenários de secas e eventos extremos de chuva em grandes áreas do planeta. No Brasil, baseado nestes estudos, a região mais vulnerável à mudança do clima, do ponto de vista social, é o interior de Nordeste.

De acordo com Bertoni e Tucci (2004), por sua capacidade para produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia, e sua disponibilidade numa bacia durante o ano é o fator determinante para quantificar, entre outros, a necessidade de abastecimento de água para uso doméstico e de irrigação. A evaporação e a evapotranspiração, por outro lado, constituem o processo de retorno da

água para o meio atmosférico. Segundo Tucci e Beltrame (2004), as informações quantitativas desses processos são utilizadas na resolução de numerosos problemas que envolvem o manejo d'água. Tais processos ocorrem quando há ingresso de energia no sistema, proveniente do sol, da atmosfera, ou de ambos. No que se refere ao Nordeste Brasileiro, verifica-se ao longo do ano um período curto de 3 a 4 meses com precipitações pluviométricas e um período longo, geralmente chamado de período de estiagem, sem precipitação, apresentando alta capacidade de evapotranspiração durante todo ano, caracterizando um clima semi-árido. Por este motivo, é uma região muito carente em relação à distribuição de água. Em uma pesquisa realizada pelo IBGE (2000), observou-se que 116 municípios brasileiros não possuem sistema de abastecimento de água, sendo que 56% destes estão na região Nordeste. Na zona rural do semi-árido a realidade é ainda mais grave, pois praticamente não existe água encanada em toda região.

Diante deste contexto, o Nordeste apresenta uma condição especial para utilização de sistemas de captação e armazenamento de água de chuva e, conseqüentemente, do uso de cisternas.

1.1 Relevância

Devido à importância da captação de águas de chuva em regiões semi-áridas e da necessidade de se estudar formas de melhoria na qualidade armazenadas em cisternas, para este trabalho foram escolhidas duas localidades na região semi-árida do Nordeste Brasileiro para se instalar dois sistemas para captação de águas de chuvas. Os modelos foram dotados de barreiras sanitárias para melhoria da qualidade da água após esta passar pelo sistema de captação, tais como: descarte automático das primeiras águas, bomba manual e telas nas partes abertas das cisternas para a proteção contra a entrada de insetos e pequenos animais. A investigação da eficiência destas barreiras sanitárias é importante para que se possa determinar o quanto a adoção de tais barreiras interfere na qualidade da água e se as barreiras sanitárias são suficientes para manter a qualidade da água dentro dos padrões de potabilidade.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliação da eficácia de barreiras sanitárias instaladas em sistemas para aproveitamento de águas de chuva.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Verificar possíveis pontos de contaminação nos sistemas de aproveitamento de águas de chuva, através da análise da qualidade da água.
- Investigar, caso haja contaminação, as possíveis causas.
- Verificar a influência de barreiras sanitárias, instaladas nos sistemas para aproveitamento de águas de chuva, no melhoramento da qualidade da água.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No que diz respeito ao abastecimento de água, a população que reside na região semi-árida do Nordeste brasileiro enfrenta severos problemas de oferta e recorrem a açudes e barreiros que, muitas vezes se encontram muito distantes da maioria das residências da região. Por isso, para muitas famílias que moram nesta região a construção de cisternas constituiu uma importante alternativa. Em trabalho realizado com 28 comunidades por Sonda et al. (2001), em três municípios paraibanos, constatou-se que, antes da implantação de cisternas na região, as mulheres e crianças acordavam entre 24h e 4h e andavam em média 6 km até as fontes de água mais próximas, normalmente açudes e cacimbas. Também no mesmo estudo foi relatado que elas perdiam muito tempo esperando sua vez para tirar água e havia muitos conflitos, brigas e falta de solidariedade entre todos nestes locais.

2.1 Abordagem Histórica do Aproveitamento da Água de Chuva

Cisterna é um reservatório construído, fechado em cima, que serve para armazenar a água da chuva que escorre dos telhados ou da superfície da Terra (Gnadlinger, 1997). A cisterna pode ser usada para outras finalidades além de abastecimento de água, por exemplo: combater enchentes em meio urbano, reduzir o requerimento de galerias pluviais, diminuir a demanda por água tratada, reduzir o escoamento superficial, etc.

O uso de sistemas de captação de águas de chuva para consumo humano data dos primórdios da civilização. Foram inventados independentemente em várias partes do mundo e em diversos continentes há milhares de anos. Eram usados principalmente em regiões semi-áridas, onde havia chuvas apenas em poucos meses do ano. Em Jerusalém, por exemplo, cisternas eram muito comuns. A cidade era abastecida por grandes reservatórios de pedra construídos abaixo dela. A água que abastecia estes reservatórios provinha de telhados inclinados, ruas e pátios. Até os anos 50, modernos apartamentos eram construídos sobre estes tipos de cisternas onde se podia armazenar água para o caso de falha no sistema de abastecimento convencional, secas ou combate a incêndio (Weiner, 1987).

Existem evidências arqueológicas de cisternas construídas na Acrópole de Hattusa, capital do Estado Hitita, que datam do século XIV a.C. Eram escavadas em rochas e

alimentadas, aparentemente, por águas de chuva, processo considerado sagrado pelos Hititas (Neve, 1971 apud Özis, 1982). Também em Istambul, Turquia, foram encontradas interessantes modelos de cisternas (Eyice, 1979 apud Özis, 1982). Na Tailândia, o costume de armazenar água de chuvas em cisternas ou lagoas surgiu há aproximadamente 2.000 anos (Prempridi e Chatusthary, 1984). No Planalto de Loess da China (província de Ganzu) existiam cacimbas há 2.000 anos. O modelo ancestral usado era a cisterna subterrânea, que consistia de reservatórios enterrados no chão e revestidos de argila impermeável vermelha e eram fundamentais para a sobrevivência das pessoas da região. Os Maias também construíram diversos tipos de cisternas (Gnadlinger, 2001).

2.2 Abordagem Atual do Aproveitamento da Água de Chuva

Nas últimas décadas, o uso de cisternas tem sido, cada vez mais, substituído por novas tecnologias, mesmo em regiões de grande escassez hídrica e de regime pluviométrico irregular, em que se pôde observar um crescente aproveitamento das águas subterrâneas e construções de grandes barragens. Além disso, a irrigação com uso de tubulações e com altos índices de energia fóssil e elétrica também motivou desaparecimento da captação das águas de chuva como alternativa para estas regiões (Gnadlinger, 2004).

Recentemente, alguns fatores como aquecimento global, crescimento populacional, entre outros, ocasionaram a necessidade de se explorar novamente a captação de águas de chuvas, que já constitui uma prática popular no Nordeste, mesmo que sem o diagnóstico preciso da climatologia da região.

Vários países enfrentam problemas de convivência com as regiões semi-áridas, inclusive o Brasil. O *Office to Combat Desertification and Drought* (Escritório para Combate à Desertificação e Seca) do Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas, mostrou que aproximadamente 30% das terras no mundo estão em áreas áridas ou semi-áridas. Estas áreas são habitadas por 1,10 bilhões de pessoas ou aproximadamente 20% da população mundial e correspondem a 24% da população da África, 17% da população das Américas e Caribe, 23% da Ásia, 6% somando-se Austrália e Oceania e 11% na Europa (PNUD, 2009). Alguns destes países conseguiram se adaptar ao longo de sua história ao clima semi-árido, outros ainda não conseguiram um ótimo aproveitamento do seu potencial hídrico.

A China, por exemplo, é um país que vem se adaptando bem ao clima semi-árido ao longo de sua história. A China possui 61,5% de sua área total localizada em regiões

semi-áridas e produz 500 milhões de toneladas de grãos, tendo uma área de 130 milhões de hectares plantada, 40% irrigados (Gnadlinger, 2001). O Brasil, porém, embora possua um território, em tamanho, próximo ao da China, possui apenas 12% deste território em área semi-árida. O Brasil produz 100 milhões de toneladas de grãos (cinco vezes menos que a China), possui 70 milhões de hectares plantados, apenas 3% irrigados, 13 vezes a menos que o percentual Chinês (Gnadlinger, 2001). A China, portanto, embora possua uma parte maior do seu território em terras semi-áridas consegue plantar mais e produzir, desta forma, mais riquezas que o Brasil que, em proporção, possui uma área menor de seu território em regiões semi-áridas.

Gnadlinger (2001) fez um estudo evidenciando os benefícios das providências tomadas nos últimos anos pelo Estado Chinês de Gansu, no Norte da China, para melhorar a qualidade de vida de sua população no que diz respeito ao acesso à água potável. Em 1995, o Governo Chinês lançou o primeiro programa oficial de captação de água de chuvas para produção agrícola. Tratava-se do 1-2-1, que significa uma área de captação, duas cisternas e uma área a ser irrigada. Os resultados obtidos foram muito satisfatórios tendo o povoado de Gansu se entusiasmado com a idéia e se lançado a construir mais cisternas. Atualmente cerca de 1,21 milhões de pessoas se beneficiam deste projeto que diminuiu de forma muito acentuada a pobreza da região. Cerca de 340 mil cisternas foram construídas pelo próprio povo sem a ajuda do governo. O uso das cisternas permitiu um aumento na produção de grãos (principalmente milho e trigo), de frutas (pêssego, pêra e maçã) e também na produção comercial de hortaliças em estufa (Gnadlinger, 2001).

O México também é um país com grande conhecimento sobre a maneira ancestral e tradicional de captar água de chuvas. Porém, existe a necessidade de otimizar os diversos tipos de captação e fornecimento de água para suprir o crescimento da demanda nacional, tanto para o consumo residencial como para a agricultura (Garduño, 1999).

No Brasil, recentemente, um fórum de organizações da sociedade civil, chamado ASA - Articulação no Semi-árido Brasileiro, vem lutando pelo desenvolvimento social, econômico, político e cultural do semi-árido brasileiro e lançou o *Programa Um Milhão de Cisternas* (P1MC), que almeja construir um milhão de cisternas no semi-árido brasileiro (ASA, 2008). A ASA conta com mais 700 entidades envolvidas tais como: igrejas católicas, evangélicas, ONG's de desenvolvimento e ambientalistas, associação de trabalhadores rurais e urbanos, sindicatos e federação de trabalhadores rurais, etc. Até o final de 2002, 1.944.000 tanques de água foram construídos, com diferentes métodos de captação de água de chuva (ASA, 2008). Em parceria com o Governo Federal, onde

conseguiu obter convênios com Ministério do Meio Ambiente (2001) e posteriormente com a ANA, Agência Nacional das Águas (2003), construiu mais 220.000 cisternas no período de 2003 a 2008.

Baseado no modelo 1-2-1 implantado na China, a ASA lançou um novo programa, o P1+2. Como o 1-2-1 da China, pretende disponibilizar dois tanques de água e uma terra para plantação de culturas comercializáveis (Gnadlinger, 2005). Na Figura 1, pode-se observar a primeira cisterna de calçadão construída pela Cáritas, Regional Piauí, através do P1+2. A Cáritas é uma entidade filantrópica ligada à igreja católica e atuante em vários países. No Brasil a Cáritas também faz parte da ASA.



Figura 1 – Cisterna de Calçadão, no Piauí. Fonte: ASA (2008).

De acordo com Gnadlinger (2005), embora o Governo Brasileiro tenha colaborado com a iniciativa da ASA, os programas por ela desenvolvidos foram elaborados pela sociedade civil organizada. O autor afirma que muitos programas governamentais até contribuíram para a degradação do meio ambiente e a desintegração das relações sociais no Semi-árido Brasileiro, ou seja, pioraram as condições de vida no campo. Segundo Gnadlinger (2005), o Programa P1+2 deveria fazer parte dos programas de desenvolvimento do Governo Brasileiro.

2.3 Tipos de Cisternas

De acordo com Gnadlinger (1997) os principais tipos de cisternas conforme o material utilizado e a técnica empregada são: cisternas de placas de cimento, cisternas de tela e arame, cisternas de tijolos, cisternas de cal e cisternas de plástico. Mais recentemente foi desenvolvido um novo tipo de cisterna constituída de arame de alambrado, que está descrito a seguir.

2.3.1 Cisternas de placas de cimento

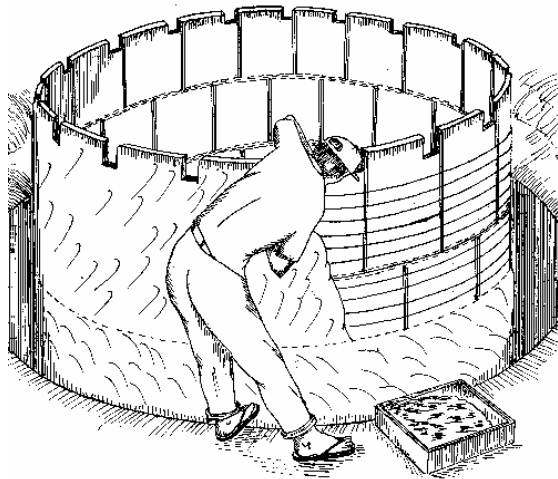
A cisterna de placas foi criada por pedreiros de Simão Dias, município de Sergipe, há mais de 35 anos (Cáritas, 2000). Este tipo de cisterna foi copiado por outros pedreiros de Sergipe e da Bahia e atualmente é muito usado no Nordeste. Pode-se encontrar este tipo de cisterna em todos os estados do semi-árido brasileiro. As cisternas de placas são constituídas de placas de cimento (traço 1:4), moldadas no próprio local e curvadas conforme o raio da cisterna (Gnadlinger, 1997). Ela deve ficar semi-enterrada (aproximadamente dois terços dela ficam abaixo do solo), e é montada em cima de um piso já concretado com ajuda de escoramento e arames para não desabar. Esta cisterna pode ser construída em oito dias de trabalho, os materiais usados podem ser encontrados em qualquer parte do Nordeste, sendo ideal para projetos onde se pretende construir muitas cisternas em espaço curto de tempo. A água armazenada geralmente possui temperatura agradável, pois a maior parte da cisterna fica enterrada e isso permite conservar a temperatura. Por outro lado, a sua construção exige trabalhadores relativamente capacitados, pois não são todos que conseguem marcar o raio corretamente no chão e no momento de erguer as placas a margem para erros deve ser muito pequena. Outra desvantagem do método é que necessita de escavação de volume relativamente grande, o que dificulta que o trabalho seja realizado todo manualmente, principalmente em região onde há muitas rochas. A má aderência das placas pode provocar vazamentos e se houver vazamentos a manutenção é muito difícil (Gnadlinger, 1997). Na Figura 2a se podem observar alguns detalhes construtivos das mesmas.

2.3.2 Cisternas de tela e arame

As cisternas de tela e arame são construídas com tela e cimento, mas para isso necessitam de uma forma que é uma chapa de aço enrolada (Figura 2b). Este tipo de cisterna deve ser coberta sempre que não se estiver trabalhando nela para evitar a fissuração do concreto. O teto pode ser feito usando tela, que é considerado complicado pelos trabalhadores, ou pode ser feito usando a mesma técnica do sistema de placas pré-moldadas. A chapa de aço, após a construção, pode ser retirada e usada várias vezes. Estas cisternas são construídas, em geral, acima do solo e não enterradas (Gnadlinger, 1997).

As principais vantagens deste tipo de cisternas são o baixo custo, a facilidade de construção, pouco uso de material e rapidez (uma equipe com três pessoas constrói uma a cada cinco dias de trabalho). A chapa também pode ser facilmente transportada em cima de caminhonetes pequenas para outros locais para continuar uma possível produção em larga

escala. As cisternas de tela e arame não necessitam de escavação, e os vazamentos, se existirem, podem ser consertados facilmente. O sistema também pode ser adaptado para uma linha produção distante do local onde serão instaladas, sendo transportadas, então, depois para o local (Gnadlinger, 1997).



(a) Cisternas de placas de cimento.



(b) Cisternas de tela e arame.

Figura 2 – Esquema de construção de cisternas. Fonte: IRPAA (2008).

2.3.3 Cisternas de tijolos

As cisternas de tijolos são construídas também semi-enterradas e rebocadas por dentro e por fora. Este tipo de cisterna, assim como a de placas de cimento, fica cerca de dois terços abaixo da superfície e exige uma escavação maior que, por sua vez, nem sempre é possível ser realizada devido ao tipo de terreno. Maior escavação também significa mais tempo de construção (o tempo de construção das cisternas de tijolos é de aproximadamente seis dias) e maior demanda por mão-de-obra. A espessura da parede é superior a 20 cm e além de ser rebocada por dentro e por fora, o interior da cisterna é coberto por nata de cimento (Gnadlinger, 1997). A argamassa de reboco deve ser feita com cimento e com cal para assegurar uma maior elasticidade. O teto da cisterna é nivelado, de concreto de armação simples ou até de vigas de madeira com uma laje fina de concreto (Gnadlinger, 1997).

Este tipo de cisterna, caso seja construída em mutirão comunitário, se torna barata. Porém se forem construídas individualmente tornam-se caras e de construção muito lenta. Também se torna mais acessível se houver subsídio de material e mão-de-obra. Caso contrário, o custo pode tornar-se muito elevado (Gnadlinger, 1997).

2.3.4 Cisternas de cal

Neste processo a cisterna é construída totalmente enterrada. Realiza-se uma escavação de dimensões e formato exato ao da cisterna que se vai construir. Depois de realizada a escavação inicia-se a construção da cisterna de dentro para fora com uso de tijolos assentados com argamassa de cal pura (Figura 3a). Para o reboco, a argamassa de cal pura é acrescida de um pouco de cimento e o telhado pode ser uma tábua bem vedada ou pode ser feita de tijolos (Figura 3b). A Figura 3c mostra uma cisterna deste tipo já construída.

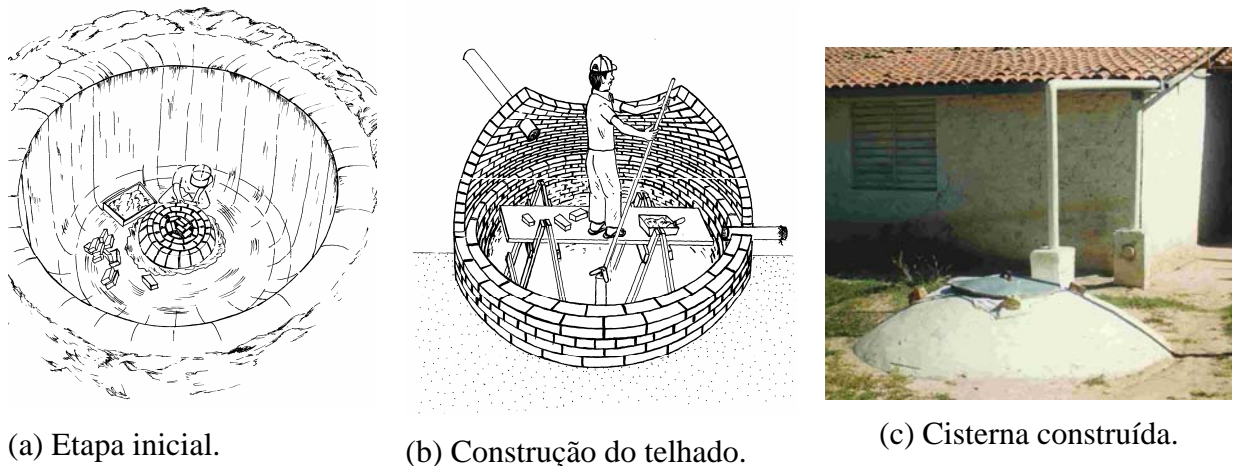


Figura 3 – Esquema de construção de cisterna de cal. Fonte: IRPAA (2008).

Este método possui algumas vantagens, como por exemplo, a cisterna pode ser construída apenas pelas famílias, sem ajuda externa, devido à facilidade de obtenção destes materiais. A maneira de construir é muito semelhante à forma como se constroem fornos de cal, técnica conhecida por muitos trabalhadores atualmente. Como desvantagem pode-se citar a necessidade de se adicionar aditivos na cal para que este se torne impermeável e em certos lugares pode ser impossível escavar até a profundidade necessária, já que a cisterna fica totalmente abaixo da superfície (Gnadlinger, 1997). Outro aspecto negativo é o tempo de construção, em média dezesseis dias.

2.3.5 Cisternas de lona plástica

No passado, foram realizadas experiências com um tipo cisterna de lona plástica, que consistia em uma escavação na forma de tronco de pirâmide que era revestido por uma lona grossa. O telhado geralmente era coberto por lona também. O tempo de construção deste tipo de cisternas era muito curto, ficando entre dois e três dias de trabalho. Porém, estas cisternas apresentavam muitos vazamentos devido a orifícios feitos por tatus ou cupins na lona (Gnadlinger, 1997). Outro problema constatado é que a retirada de água

com baldes também ocasionava vazamentos nas mantas que, normalmente, rasgavam. Gnadlinger (1997) cita também que a comunidade não se envolvia muito na construção da cisterna, pois o principal da cisterna era a lona, que vinha pronta e o envolvimento da comunidade e das famílias na implantação das cisternas é muito importante para o sucesso da continuidade de um programa de cisternas.

2.3.6 Cisternas utilizando como estrutura básica tela galvanizada de alambrado

A construção de cisterna usando tela de alambrado como estrutura foi proposto por Schistek (2005). Alguns detalhes construtivos, apresentados por Schistek (2005) deste tipo de cisterna podem ser observados na Figura 4, conforme a seqüência de construção: instalação do alambrado e a fixação de sacos de cebola com fitilho (Figura 4a), construção das placas a serem utilizadas no teto (Figura 4b), revestimento das paredes com argamassa de cimento e areia (Figura 4c). O autor relata que este tipo de cisterna possui segurança e apresenta o menor custo dentre as cisternas mais conhecidas, embora no quadro 2 possamos perceber que existem outros tipos de cisternas com custos mais acessíveis.

Este tipo de cisterna, embora semelhante à cisterna de tela e arame, possui algumas diferenças. O material utilizado, ao contrário do arame, é a tela de alambrado e o processo construtivo também dispensa o uso da chapa de aço, como é o caso da cisterna de tela e arame. As principais vantagens encontradas neste tipo de cisterna foram a não necessidade de escavação; o sistema, que pode ser adaptado para a produção em série; facilidade de construção e baixo custo. O tempo de construção deste tipo de cisternas é de seis dias de trabalho para uma equipe de três pessoas. Pelas vantagens expostas, o autor recomenda a adoção deste tipo de sistema pela organização civil ASA.



(a) Amarração do arame.



(b) Colocação do concreto.



(c) Cisterna construída.

Figura 4 – Construção de cisterna usando como estrutura básica tela de alambrado. Fonte: Schistek (2005).

2.3.7 Comparação de custos e tempos de construção dos tipos de cisternas estudados

Na tabela 1 pode-se observar os valores gastos para construção dos diversos tipos de cisternas estudados, tomando-se por base um volume armazenado de 20.000 L.

Tabela 1 – Comparação entre os tipos de cisternas apresentadas. Fonte: adaptado de Schistek (2005) e Gnadlinger (1997), com preços atualizados para o ano de 2009.

Tipo de cisterna	Custo de construção de uma cisterna de 20.000 L	Dias necessários para a construção
Cisternas de Placas	671,30	8
Cisternas de tela e arame	1232,50	5
Cisternas de tijolos	1854,30	6
Cisternas de cal	1831,40	16
Cisternas de lona plástica	255,00	2
Cisternas de tela e alambrado	1819,00	6

Como pode-se observar, as cisternas de placas necessitam de um tempo de construção maior se comparadas à maioria dos tipos de cisternas, porém este tipo de cisterna possui o menor custo dentre as cisternas estudadas, seus materiais também são mais facilmente encontrados. Segundo o critério do tempo de construção, a cisterna de maior rapidez de construção é a de lona plástica, mas, em contrapartida, esta apresenta menor segurança contra vazamentos (Gnadlinger, 1997). A cisterna de tela e alambrado apresenta maior segurança contra vazamentos segundo Schistek (2005), porém, como pode-se observar na tabela 1, esta apresenta custo de construção maior se comparada à cisterna de placas.

2.4 Áreas de captação

Muitos pesquisadores, como Schistek (1999), Jalfim (2003), Almeida e Lima (2007), no entanto, vêm destacando os benefícios de se usar superfícies rochosas ou calçadas, piso cimentado construído ou aproveitado para este fim. Também na falta de um volume de armazenamento suficiente grande para suprir a demanda de uma família, uma solução que pode se tornar viável é a construção de um telhado extra, ao contrário de se tentar construir uma cisterna maior, assim a cisterna recuperaria a quantidade de água mais rapidamente, com uma pequena chuva, por exemplo.

Na Figura 5b está apresentado um tipo cisterna chamada de “calçadão”, expressão utilizada quando se usa uma superfície impermeável no chão, já existente ou construída,

para os fins de captação. Normalmente o telhado da residência é suficiente captar água para uma família beber e cozinhar durante um ano em 90% dos casos do Nordeste (Gnadlinger, 1997).



(a) Área de captação: telhado. Fonte: IRPAA (2008)



(b) Área de captação: superfície impermeável no chão. Jalfim (2003).

Figura 5 - Cisternas alimentadas por diferentes áreas de captação

2.5 Dimensionamento da Cisterna

Jalfim (2001), num estudo realizado sobre o dimensionamento de cisternas, afirma que é necessário levar em consideração dois aspectos importantes: que elas devem ser esvaziadas em cada ano e que não se devem desperdiçar materiais. Além disso, segundo o autor, as três variáveis principais no dimensionamento são: *déficit* pluviométrico mês a mês, área de captação do telhado e volume da cisterna.

O P1MC, por ser um projeto de grande escala, padronizou as suas cisternas em 16.000 L e a área de captação é a que estiver disponível na casa do morador, sem considerar áreas extras de captação que possam estar disponíveis no local, ou se a área do telhado é insuficiente para o enchimento da cisterna ou para garantir a autonomia do usuário durante o período de estiagem. Certamente, para um projeto que atinge uma escala das proporções do P1MC, a padronização é importante e estes detalhes de dimensionamento provavelmente não comprometem o projeto como um todo, mas o dimensionamento de um caso específico deve levar em consideração as referidas variáveis. Além disso, para fins de dimensionamento, deve-se imaginar que a cisterna funciona como uma barragem em que o mês cuja quantidade de chuva for superior ao mínimo estabelecido para as necessidades das famílias, esta água deve ficar armazenada para o uso posterior quando houver um *déficit* de chuvas. Assim sendo, nos meses mais secos, que correspondem aos períodos de estiagem, em que a quantidade de chuva for inferior ao

mínimo, a água disponível para retirada pelas famílias corresponderá ao volume armazenado do período anterior.

Segundo Jalfim (2001), o consumo de água na zona rural é de 6 L por pessoa por dia, baseando-se na água necessária apenas para uma pessoa beber e cozinhar. No entanto, Ariyananda (1999) considera que o valor correto para estimar o consumo de água de uma pessoa na zona rural por dia seria de 20 L, pois, segundo o autor, a higiene pessoal deveria considerada para este cálculo.

Assim, para encontrar o volume de água necessário para o suprimento de uma família na zona rural por mês é o de adotar um dos dois valores supracitados e multiplicar pelo número de pessoas da família como na equação 1 (Jalfim, 2001):

$$V_1 = n \times C \times D \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

$V_1 (m^3)$ = Volume necessário para suprir as necessidades da família / mês

n = número de moradores na casa

$C (m^3/\text{pessoas/dia})$ = consumo diário por pessoa adotado

D (dias) = número de dias no mês

Assim através da equação 2 (Silva, 2006), utilizando-se a precipitação média do mês na região, estima-se a quantidade de água disponível para o armazenamento no mês.

$$V_2 = CE \times A \times P \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

$V_2 (m^3)$ = Volume disponível para abastecimento / mês

CE (Adimensional) = Coeficiente de escoamento do telhado

$A (m^2)$ = Área de captação

$P (m)$ = Precipitação média no mês

Desta forma, deve-se fazer o estudo mês a mês onde o V_2 deve ser maior ou igual ao V_1 . Nos meses em que o V_1 for maior que o V_2 deve-se tentar garantir o armazenamento da diferença entre o V_1 e o V_2 em meses anteriores onde exista um excedente de água. Pode-se também, em casos onde isto não for possível, criar mais áreas de captação ou, até mesmo, aproveitar áreas naturais de captação que existam no local, como pedras em forma de “bacias” e superfícies impermeáveis.

Ressalta-se, entretanto, que este é um dos métodos existentes para dimensionamento de sistemas de aproveitamento de águas de chuva e existem outros métodos disponíveis na literatura científica.

2.6 Qualidade da água de chuva e das cisternas

Tão importante quanto prover água para uma população é garantir que a mesma tenha acesso à água de boa qualidade. Em geral, a qualidade das águas de chuva é adequada para consumo humano, exceto em locais onde existe muita poluição atmosférica. A contaminação da água se dá normalmente durante o contato da água com o telhado ou partes do sistema de captação-armazenamento (Andrade Neto, 2003). No telhado, por exemplo, restos de animais mortos ou fezes e urina dos mesmos podem contaminar a água quando esta chega à superfície. Outra fonte de contaminação acontece no manejo da água com o uso de baldes e outros recipientes, para retirada da água, que comprometem sua qualidade. Para retirada da água se recomenda o uso de bombas manuais, que evitam o contato direto com a mesma. Segundo Andrade Neto (2003), a proteção sanitária de cisternas rurais para o abastecimento doméstico é relativamente simples, requerendo, basicamente, cuidados como o desvio das primeiras águas das chuvas, a tomada d'água por tubulação e o manejo adequado, sendo que esta última depende muito do nível de informação a que o usuário tem acesso sobre o tema.

Embora em algumas situações, a quantidade de água armazenada pelas cisternas seja suficiente para suprir as necessidades básicas da comunidade na época da estiagem, esta água normalmente está fora dos padrões de potabilidade (Brito et al., 2006; Silva, 2007; May, 2004).

Silva (2006) analisou entre os anos de 2005 e 2006, a qualidade da água de 16% cisternas localizadas no Município de Araçai, Minas Gerais. Das amostras observadas 70% apresentaram resultados insatisfatórios de acordo Portaria 518/2004 (BRASIL, 2004) com relação à presença de *E.Coli*. O autor relatou também que a maior parte dos resultados negativos foi verificado em cisternas com mais de um ciclo de enchimento. A conclusão do estudo é que o desgaste das cisternas, onde foram constatadas fissuras, vazamentos, tampas quebradas com aberturas, permitindo entradas de pequenos animais, etc., promovem uma diminuição da qualidade de água no seu segundo ano de uso.

Outro aspecto destacado no estudo é a educação ambiental. O autor constatou a retirada de água com recipientes pelos usuários, que nem sempre estão limpos e livres de bactérias. Os resultados do monitoramento foram coerentes com um estudo realizado por Brito et al. (2005), que encontraram *E.coli* em 73% das amostras em comunidades de Petrolina – PE. Mas segundo os autores, o resultado se deveu ao abastecimento das cisternas com carros pipas pelos usuários. Já May (2004) observou grande concentração de

bactérias, tanto coliformes como algumas patogênicas, na água de chuva armazenadas em cisternas e recomendou que esta fosse submetida à desinfecção para evitar riscos à saúde dos usuários.

Com o objetivo de evitar a contaminação a partir do volume de água remanescente na cisterna, do período anterior, é interessante também que todo ano, ao final do período seco, se realize limpeza da cisterna, aproveitando que a mesma deve ter pouca ou nenhuma água e também que outras fontes de abastecimento de água na região estarão disponíveis.

Embora se necessite de mais estudos para melhorar a qualidade de águas nas cisternas, destaca-se que o uso de águas de chuva ou o uso de águas de chuva integrado a outras fontes de água consiste em uma excelente alternativa para solução ou mitigação dos efeitos da estiagem no Nordeste Brasileiro. Segundo Andrade Neto (2003), a água de chuvas é geralmente de boa qualidade mas, para ser usada para consumo humano deve ter sabor e odor agradáveis, não conter microorganismos patogênicos (ausência de *escherichia coli* em 100 mL de água), ter baixas unidades de cor aparente e turbidez e não conter substâncias químicas em quantidades que possam fazer mal à saúde humana. Estes aspectos devem ser analisados como referência para se obter a qualidade de água necessária nas cisternas.

Segundo Andrade Neto (2003), metais pesados, como chumbo, são potencialmente perigosos em áreas com densidade de tráfego alta ou na redondeza de indústrias. Substâncias químicas orgânicas, como organoclorados e organofosfatados, usadas em venenos, praguicidas e herbicidas, quando em altas concentrações na atmosfera, também podem contaminar a água de chuva. Contudo, segundo ainda o autor, normalmente a contaminação da água de chuvas se restringe aos meios urbanos e industriais e geralmente a mesma possui boa qualidade química (dureza, salinidade, alcalinidade, etc).

A contaminação da água de chuva geralmente ocorre na superfície de captação (telhado, solo, ou outra superfície preparada ou natural) ou quando está armazenada de forma não protegida. Vários estudos que examinaram a qualidade de águas de chuva armazenadas em cisternas concluíram que estas geralmente atendem os padrões de potabilidade da Organização Mundial de Saúde para os parâmetros físico-químicos, porém freqüentemente não atendem aos padrões de potabilidade da OMS quanto aos critérios de qualidade microbiológica, o que significa que estão geralmente contaminadas ou susceptíveis a contaminação por microorganismos patogênicos (Gould, 1999; Simmons e Heyworth, 1999). Amorim e Porto (2001) analisaram a qualidade bacteriológica das águas de cisternas no município de Petrolina, no Nordeste do Brasil, e constataram a presença de

coliformes em quantidades acima das previstas nos padrões de potabilidade, em todas as cisternas estudadas.

2.7 Legislação

No Brasil não existe legislação específica para captação e controle de qualidade da água de chuva destinada para consumo humano, bem como específica para construção de cisternas. A Portaria 518 (BRASIL, 2004), porém, estabelece que a captação de águas de chuva para consumo humano possa ser considerada fonte alternativa de abastecimento. Porém, como as cisternas constituem um sistema individual de abastecimento de água e, em geral, não há monitoramento de sua qualidade como ocorre em fontes de abastecimento público, se torna difícil garantir a qualidade da água das cisternas conforme os padrões microbiológicos da Portaria 518. Além disso, a qualidade das águas de chuva armazenada em cisternas está relacionada também com fatores ambientais e a água pode ser contaminada de diversas formas. Por esses motivos, Silva (2006) afirma que a Portaria 518 pode se tornar muito rígida para tratar do caso específico da captação de águas de chuva no que se refere aos parâmetros microbiológicos. Por exemplo, é um tanto difícil garantir a ausência total de *E. coli* em uma amostra de 100 mL de água, mesmo com muito esforço para a educação ambiental do usuário, como pode ser observado em estudos de diversos autores (Silva, 2006; Brito et al., 2006; May, 2004).

Existe, porém, a norma brasileira NBR 15527 (ABNT, 2007) que determina algumas diretrizes sobre o aproveitamento de águas de chuva para fins não potáveis. Embora não seja lei, a norma sugere que o projeto do sistema possua Anotação de Responsabilidade Técnica – ART, registrada em CREA – Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura. Sugere, também, que sejam analisadas as séries históricas de precipitações da região para a concepção do projeto. A norma não determina a utilização de *first flush* (termo utilizado para designar dispositivo de descarte das primeiras águas), ficando este a critério do projetista por não se tratar de água para consumo humano.

Já a norma brasileira NBR 5626 (ABNT, 1998), que dispõe sobre instalações prediais de água fria, prevê que o sol não deve ter acesso ao interior da cisterna e que o sistema deve ser independente do sistema de abastecimento de água potável. Outra norma brasileira, NBR 12214 (ABNT, 1992), sugere manutenção mensal de bombas e dispositivos de descarte e desinfecção e verificação de calhas e condutores duas vezes ao ano.

2.8 Soluções para padrões adequados de qualidade da água

De acordo com Andrade Neto (2003), a segurança sanitária de sistemas de captação de água de chuva em cisternas rurais depende da educação sanitária e da participação social da comunidade envolvida, mas também depende de um projeto adequado, inspeção regular e manutenção do sistema. Além disso, alguns equipamentos e algumas metodologias podem ser empregados com vistas a assegurar a qualidade da água oriunda das cisternas, tais como: equipamento de descarte automático das primeiras águas de cada chuva e bomba manual que evita o contato da água com as mãos do operador.

O equipamento de descarte automático das primeiras águas de cada chuva é um dispositivo utilizado para impedir que a água de chuva que escorre do telhado no início da precipitação, e com impurezas do sistema de captação dissolvidas, chegue ao interior das cisternas (armazenamento), descartando a água da chuva proveniente do início da precipitação.

2.8.1 Equipamento de descarte automático das primeiras águas de cada chuva

O descarte automático das primeiras águas de cada chuva é uma medida relativamente simples para evitar a contaminação da mesma assim que chega ao sistema. Aproveitando o fato de que a própria água é considerada um bom solvente, podem-se armazenar as primeiras águas das chuvas, que terão as impurezas dissolvidas, em um pré-tanque (Figura 6a) que ao final da enxurrada é esvaziado. Essa água pode ser usada ainda para fins menos nobres como lavagem de chão ou carros, por exemplo.

Em estudo de Rodrigues et al. (2007), o desvio que pode ser observado na Figura 6b foi instalado em cinco cisternas de Itaingá, Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. O referido desvio é relativamente simples de se instalar. Porém, embora os autores relatem bons resultados sobre a utilização do desvio das primeiras águas, não foram realizadas análises na qualidade da água após os desvios para confirmar a hipótese de que o referido desvio seja realmente eficiente. Desta forma, fica evidente a necessidade de maiores investigações para a comprovação da eficácia deste tipo de dispositivo.

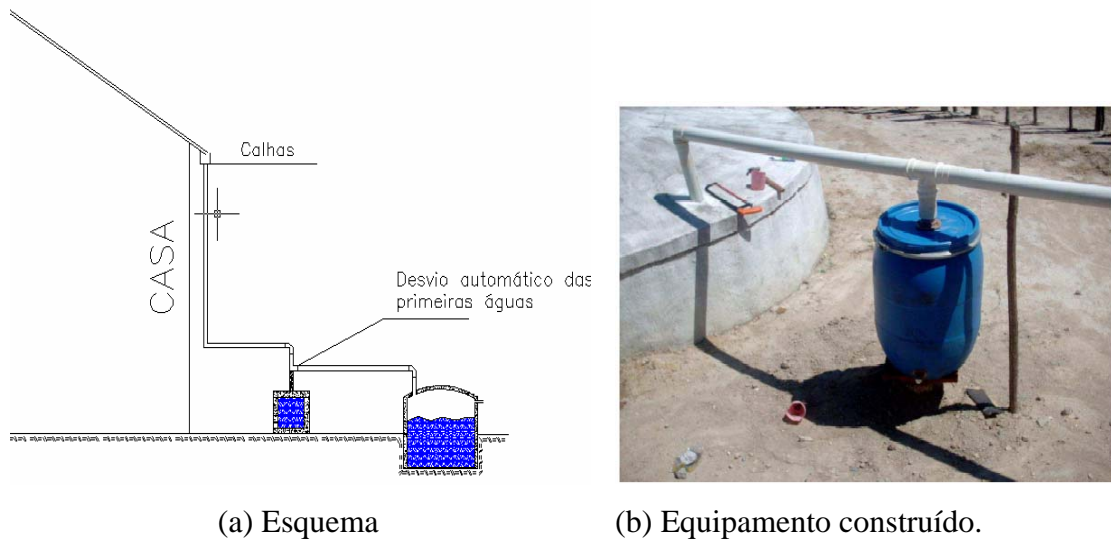
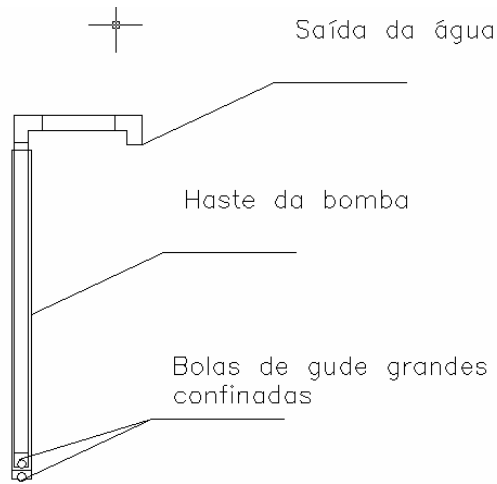


Figura 6 – Desvio das primeiras águas. Fonte: Rodrigues et al. (2007).

2.8.2 Bomba manual

Uma importante barreira sanitária para a contaminação da água é a bomba manual. A retirada de água da cisterna com uso de baldes ou latas é comum para as famílias que possuem cisternas (Silva, 2007; Andrade Neto, 2003). O problema desta prática é que normalmente este balde é utilizado para diversos outros fins, que não só para tirar água das cisternas. Outro problema freqüente é que este balde às vezes fica no chão ou é manuseado por usuários que não lavam direito as mãos. O uso destes objetos para retirar água não é adequado, pois compromete a qualidade da mesma. Uma medida que pode solucionar este problema é a instalação na cisterna de uma bomba. Na ocasião de construção das cisternas no semi-árido nordestino, a organização civil ASA sempre instala uma bomba manual (Figura 7).



(a) Esquema



(b) Bomba manual

Figura 7 – Bomba manual.

Na Figura 8 pode-se observar o esquema de funcionamento desta bomba. Quando o punho da bomba é puxado para cima (Figura 8a), as duas válvulas formadas pelas bolas de gude são acionadas, uma liberando a entrada de água proveniente da cisterna, a outra vedando a saída de água da haste da bomba, elevando o nível da água no interior da haste. Quando o punho da bomba é empurrado para baixo (Figura 8b), as válvulas invertem a posição, uma a liberando a passagem da água do corpo da bomba para a haste, a outra vedando a passagem da água para o interior da cisterna. Ao final deste movimento o nível de água no interior da haste da bomba eleva-se novamente. Repetindo-se o movimento várias vezes têm-se a saída da água por transbordamento, sendo esta despejada pela parte de cima da bomba, como podemos ver na Figura 7b.

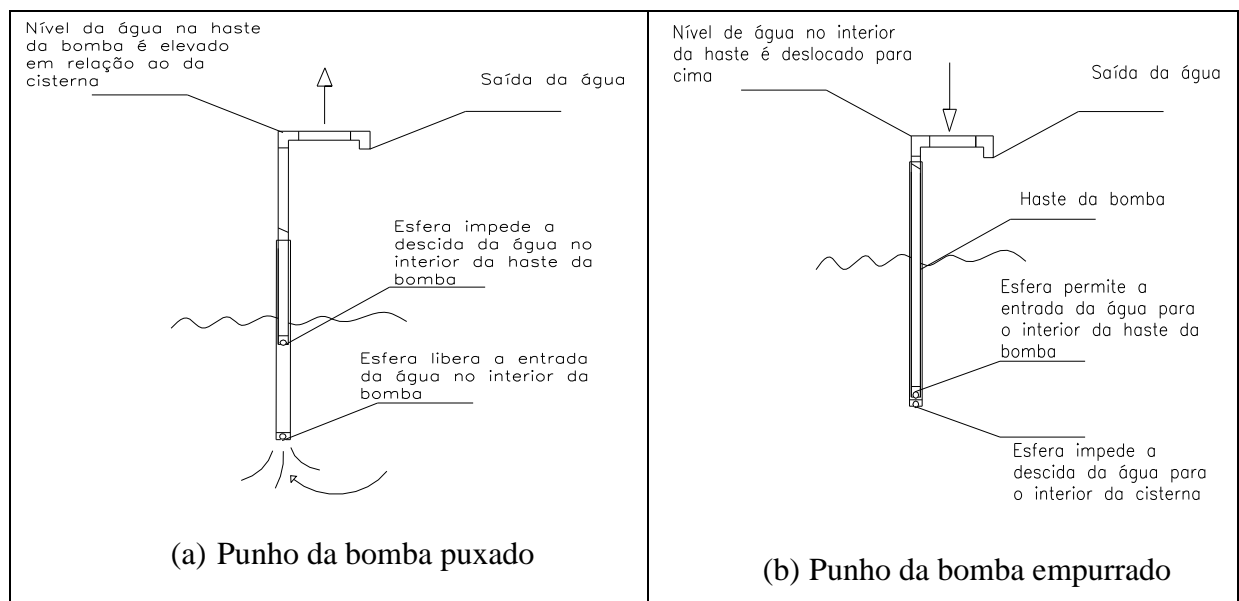


Figura 8 – Esquema de funcionamento da bomba manual.

2.8.3 Técnicas de desinfecção

Para garantir que o usuário não venha a ter problemas de saúde em decorrência da contaminação da água, alguns autores (May, 2004; Dávila et al., 2007) recomendam que a água das cisternas sejam desinfetadas antes do seu consumo. Existem, porém, várias formas de promover a desinfecção da água, sendo que as mais conhecidas são a cloração e fervura.

Quadro 1: Características das principais técnicas de desinfecção.

FERVURA

- Técnica: consiste em ferver a água à temperatura de 100 °C para que a alta temperatura elimine a maioria dos microorganismos presentes na água.
- Desvantagens:
 - não extermina o vírus da hepatite (EAWAG/SANDEC, 2005);
 - como a água perde gases que estão dissolvidos nela, seu sabor e odor mudam após a fervura (EAWAG/SANDEC, 2005);
 - necessita de muita energia para ser realizada (EAWAG/SANDEC, 2005).

CLORAÇÃO

- Técnica: Uso de hipoclorito de sódio na concentração de cloro 2 a 5% para exterminar agentes patogênicos (vírus e protozoários) presentes na água (Silva, 2006).
- Desvantagens:
 - a água deve ter uma turbidez inferior a 1 UT (Brasil, 2004);
 - deve permanecer na água o cloro residual a 5 mg/L (Brasil, 2004);
 - o uso do cloro sem o devido controle pode gerar subprodutos cancerígenos, principalmente se houver matéria orgânica na água (restos de folhas, animais mortos, fezes de animais (Silva, 2006);

SODIS

- Técnica: Expor garrafas transparentes ao sol em horários de maior insolação para que a alta temperatura associada à exposição aos raios UV promovam a desinfecção da água (EAWAG/SANDEC, 2005).
- Desvantagens:
 - a técnica não extermina os microorganismos, apenas inativa os mesmos. Em decorrência disto a água deve ser consumida em até 24h ou as garrafas devem ser expostas novamente ao sol (EAWAG/SANDEC, 2005);
 - em dias nublados e em época de chuva a técnica não pode ser utilizada (EAWAG/SANDEC, 2005);

2.9 Indicadores da qualidade da água

Alguns parâmetros podem ser utilizados como indicativos da situação da qualidade da água do sistema de captação e armazenamento de água de chuva: coliformes totais e termotolerantes, bactérias heterotróficas, acidez, alcalinidade, turbidez, alumínio, ferro, cor aparente, condutividade, sólidos dissolvidos, pH e oxigênio dissolvido.

2.9.1 Coliformes totais e termotolerantes

Os coliformes totais são um grupo de bactérias que possui representantes de vida livre capazes de se reproduzir no meio ambiente. Portanto, isoladamente, não são bons indicadores de contaminação fecal (Silva, 2006). A *escherichia coli*, por sua vez, é um tipo de bactéria do grupo coliformes que possui origem exclusivamente intestinal proveniente de animais de sangue quente, como o homem. A presença de *E. coli* em águas armazenadas em cisternas sugere que a mesma foi contaminada recentemente por bactérias de origem intestinal e possivelmente patogênicas. A *E. coli*, por sua vez, não é boa indicadora de organismos mais resistentes como vírus e protozoários. Para isso os coliformes totais são mais eficazes. A Portaria 518 (BRASIL, 2004) exige a ausência de coliformes termotolerantes, ou *escherichia coli*, em amostra de 100 mL. Numericamente, as amostras de água de fontes alternativas destinadas ao consumo humano podem ter a presença de coliformes totais, desde que haja a ausência de *E.coli*/100 mL, devendo ser pesquisada a origem da ocorrência da provável contaminação e providenciar as medidas corretivas e preventivas (BRASIL, 2004).

2.9.2 Bactérias heterotróficas.

São bactérias capazes de se desenvolverem em água parada na ausência de desinfetante. A quantidade total de bactérias heterotróficas em água de cisternas, por exemplo, em geral, indica a presença de matéria orgânica na água. A legislação brasileira (BRASIL, 2004) estabelece o limite para a contagem heterotrófica em menos de 500 Unidades Formadoras de Colônias (UFC) por mL em sistemas de abastecimento para que a água seja considerada como adequada para o consumo humano.

2.9.3 Acidez

A acidez representa a capacidade da água para resistir a mudanças de pH ocasionadas pela presença de bases. Em cisternas a acidez é importante, pois, se for elevada, pode corroer as paredes das mesmas facilitando o surgimento de rachaduras. A

acidez não ocasiona problemas de ordem sanitária, mas pode alterar o sabor da água de modo que o mesmo se torne desagradável.

2.9.4 Alcalinidade

A alcalinidade mede a capacidade da água de neutralizar os ácidos presentes na mesma. A alta alcalinidade pode ser provocada por excessos de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Se este fato ocorrer pode haver a dissolução da superfície de cimento, removendo o carbonato de cálcio presente na composição do mesmo (Lye, 1992). A análise alcalinidade irá indicar se após entrar em contato com o telhado há uma tendência da água se tornar mais alcalina, podendo, desta maneira, influenciar de forma negativa a manutenção e a vida útil da cisterna.

2.9.5 Turbidez

A turbidez indica a presença de material particulado ou em estado coloidal na água. Se a água possui uma turbidez elevada este material passa a ser visível ao olho humano e o usuário pode rejeitar esta água. As matérias particuladas podem proteger os microrganismos da desinfecção, diminuindo a eficiência do processo, e ainda serem utilizadas como indicativo da provável presença de microrganismos maiores, como a giardia e o cryptosporidium (WHO, 2004).

2.9.6 Alumínio

O alumínio é o elemento mais abundante da crosta terrestre, com 8% da sua composição. Os sais do metal são utilizados como coagulantes no tratamento de água em sistemas de abastecimento, podendo ser encontrado em valores elevados na água tratada. Não apresenta riscos potenciais à saúde, podendo apenas causar alterações na cor e turbidez da água (WHO, 2004). A presença de alumínio em cisternas pode indicar a corrosão das paredes da mesma, visto que, o alumínio está presente na composição do cimento ou a contaminação através de calhas de alumínio.

2.9.7 Ferro

Em altas concentrações, o ferro pode alterar a cor da água e ainda manchar roupas. Também pode causar rejeição por parte dos consumidores por ocasionar cor, odor e sabor à água. O Valor Máximo Permitido (VMP) para o ferro é de 0,3 mg/L.

2.9.8 Cor aparente

A cor da água representa as características físicas dela, devido a existência de substâncias dissolvidas, ou em estado coloidal, na maioria dos casos de natureza orgânica (Silva e Oliveira, 2001). A cor aparente representa a parcela de cor da água que é decorrente de substâncias dissolvidas e em suspensão. Em águas destinadas ao abastecimento humano, a cor da água não deve ultrapassar 15 uH.

2.9.9 Condutividade

A condutividade ou condutância específica de uma amostra é a capacidade de conduzir corrente elétrica sendo esta dependente do número e do tipo de espécies iônicas nela dispersas (Silva e Oliveira, 2001). A condutividade expressa indiretamente a capacidade de corrosão de uma água e, indiretamente, a salinidade e a quantidade de sólidos dissolvidos.

2.9.10 Sólidos dissolvidos

Em águas potáveis os sólidos dissolvidos são, em geral, sais inorgânicos, pequena quantidade de matéria orgânica e gases dissolvidos (Silva e Oliveira, 2001). Em geral, a medida dos sólidos dissolvidos indicam a presença destes em maior ou menor grau. Se existe muito sólido dissolvido, indiretamente, existe também muitos compostos iônicos, indicando uma alta salinidade. O valor máximo permitido para sólidos dissolvidos totais é de 1.000 mg/L.

2.9.11 pH

O pH é um termo que expressa a intensidade da condição ácida ou básica de um determinado meio (Silva e Oliveira, 2001). Em cisternas para abastecimento humano, um meio muito ácido pode corroer as paredes das cisternas tornando-as mais suscetíveis a fissuras. A legislação brasileira determina que a água para abastecimento humano possua um pH entre 6,5 e 8,5.

2.9.12 Oxigênio dissolvido

Os níveis de oxigênio dissolvido dependem diretamente das atividades físicas, químicas e bioquímicas que acontecem na água que está sendo estudada (Silva e Oliveira, 2001). Em geral, em águas que estão contaminadas por bactérias, percebe-se um decréscimo do oxigênio dissolvido, devido ao fato das bactérias aeróbias utilizarem o mesmo para processar a matéria orgânica que as mesmas consomem (Braga et al., 2005).

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

Considerando os estudos já realizados sobre captação de águas de chuvas e, a partir das considerações apresentadas por May (2004), que destacou a importância da realização de estudos para se verificar as particularidades do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva em diferentes tipologias de telhados e em diferentes regiões conforme o regime de chuvas, foram definidos dois locais para instalação de dois sistemas para aproveitamento de águas de chuva.

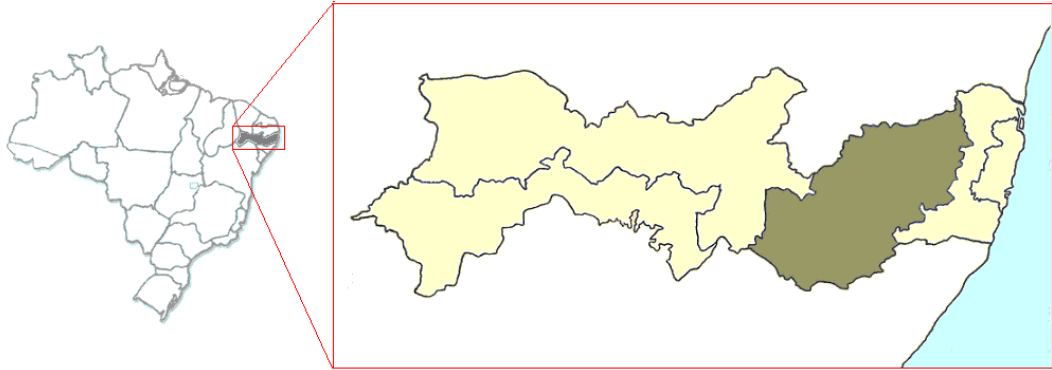
Os sistemas para aproveitamento de águas de chuva utilizados para a realização desta pesquisa foram projetados e construídos pelo projeto, o qual esta pesquisa fez parte: “Melhoramentos Tecnológicos e Educação Ambiental para a Sustentabilidade dos Projetos de Armazenamento de Água de Chuva em Cisternas no Nordeste Semi-Árido”, este projeto teve como proponente a ATECEL – Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Jr. e participaram da realização do mesmo as entidades: UFCG – Universidade Federal de Campina Grande (executor), UEPB – Universidade Federal da Paraíba (co-executor), UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco (co-executor), EMBRAPA/Semi-Árido – Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (co-executor) e UFPE – Universidade Federal de Pernambuco (co-executor). Os sistemas de aproveitamento foram construídos em adequação à realidade local (econômica e cultural) de forma tal que foi possível investigar possíveis pontos de contaminação da água por meio da avaliação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos da água que circulou em todo o sistema.

3.1 Descrição da área de estudo

3.1.1 Aspectos biogeográficos da área de estudo

O semi-árido brasileiro possui 962.589,4 km² e abrange uma grande área que atravessa nove estados do Nordeste do Brasil, cobrindo 1.133 municípios. Esta região compreende quase totalmente oito estados, que fazem parte da região Nordeste do País, e ainda uma área representativa do estado de Minas Gerais, na região Sudeste. As atividades desta pesquisa foram desenvolvidas no município de Pesqueira, que está localizada na região do agreste do estado de Pernambuco, mais precisamente na região agreste central

(SECTMA, 2006). O município de Pesqueira (Figuras 9a e 9b), que possui uma área de 1036,45 km², dista aproximadamente 238 km do município de Recife, e tem uma população, segundo censo de 2007, de 61.337 habitantes.



(a) Mapa do Brasil com destaque para região agreste de Pernambuco.



(b) Localização de Pesqueira na região agreste.

Figura 9 – Mapa de Pernambuco destaque para a região agreste e para o município de Pesqueira. Fonte: Wikipedia (2008).

3.1.2 Geomorfologia

O município de Pesqueira situa-se entre a Serra do Gavião e a Serra do Ororubá que, por sua vez, encontram-se na unidade geoambiental do Planalto da Borborema. É um conjunto de diversas superfícies de erosão cenozóicas (período que na escala de tempo geológico se inicia de 65 milhões e 500 mil anos até os dias atuais), realçadas por fenômenos tectônicos e mudanças climáticas sucessivas (SECTMA, 2006). São encontradas nesta região maciços residuais, seções da crosta da Terra que são demarcadas por falhas. Estes maciços contêm as áreas as áreas mais altas do estado, caso de Pesqueira.

No planalto da Borborema despontam ainda, numerosas escarpas de falhas, além de cristas, também residuais (SECTMA, 2006).

3.1.3 Vegetação

Do ponto de vista da vegetação, o Município de Pesqueira está localizado na zona da caatinga, vegetação espinhosa de pequeno a médio porte, cujas espécies, em sua grande maioria, perdem as folhas no período seco (SECTMA, 2006). Embora a vegetação encontrada em quase toda a região de estudo seja a caatinga, no município de Pesqueira, existe uma pequena área onde se encontra a mata úmida, tipo de vegetação semelhante à encontrada na zona da mata Pernambucana (SECTMA, 2006).

3.1.4 Hidrografia

Pesqueira encontra-se nos domínios das bacias hidrográficas dos rios Ipanema e do Ipojuca. A nascente do rio Ipanema se situa no município de Pesqueira e corta o estado de Pernambuco de Norte a Sul, passa por Alagoas e deságua no São Francisco. Os principais afluentes do Ipanema são: riacho do Mororó, riacho do Munlungú, riacho do Pinto, riacho do Mandacaru, rio Topera, rio dos Bois, riacho da Luíza, rio Cordeiro e rio Dois Riachos (SECTMA, 2006). Já o rio Ipojuca possui 320 km e corta o estado de Pernambuco no sentido leste-oeste e seu regime fluvial é intermitente. Dentre os seus afluentes destaca-se o riacho dos Bois, que situa-se no município de Pesqueira (SECTMA, 2006). Na Figura 10 a nomenclatura UP 03 representa a bacia hidrografia do Ipojuca, já a nomenclatura UP07 representa a bacia hidrográfica do Ipanema. O município de Pesqueira tem a maior parte de seu território localizada na bacia do Ipanema, mas há parte de seu território localizada na bacia hidrográfica do Ipojuca.

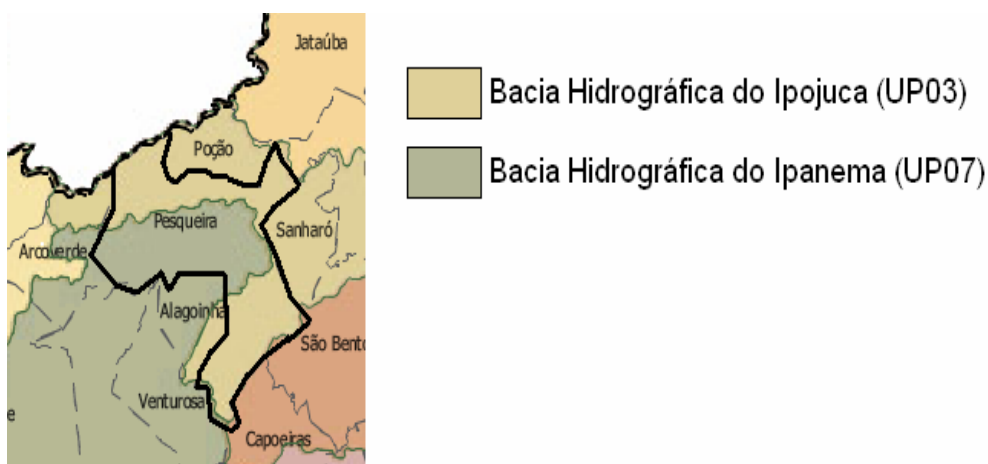


Figura 10 Parte do Estado de Pernambuco, destacando o município de Pesqueira. Fonte: SECTMA (2006).

3.1.5 Precipitação e evapotranspiração

O ciclo hidrológico de uma região é fortemente influenciado pelo clima e o município de Pesqueira apresenta um clima quente e de chuvas escassas características de regiões semi-áridas. As precipitações desta região apresentam um padrão de grande variabilidade no decorrer dos meses, conforme os resultados obtidos por SARA (2008) e Hargreaves (1977), plotados em gráfico na Figura 11.

Os baixos valores de precipitação, em alguns períodos do ano, fortalecem a necessidade de maior estudo sobre o adequado aproveitamento dos recursos hídricos locais, pois o aumento da temperatura do ar aquece a superfície da Terra e provoca evaporação das massas líquidas expostas (superfície) e no interior do solo. Quando a evapotranspiração se apresenta em taxas elevadas, caso da região de estudo, a água das principais fontes de abastecimento evapora tornando a água da região cada vez mais escassa. No caso da área de estudo, verifica-se que a taxa de evapotranspiração é superior aos valores de precipitação durante todo o ano, sendo mais críticos os meses de agosto a dezembro. Nos meses onde a precipitação é mais baixa, tem-se uma evapotranspiração ainda maior, o que dificulta ainda mais o aproveitamento dos recursos hídricos na região. Este fato evidencia a evapotranspiração elevada como um dos principais fatores para a escassez hídrica no semi-árido e na região de estudo.

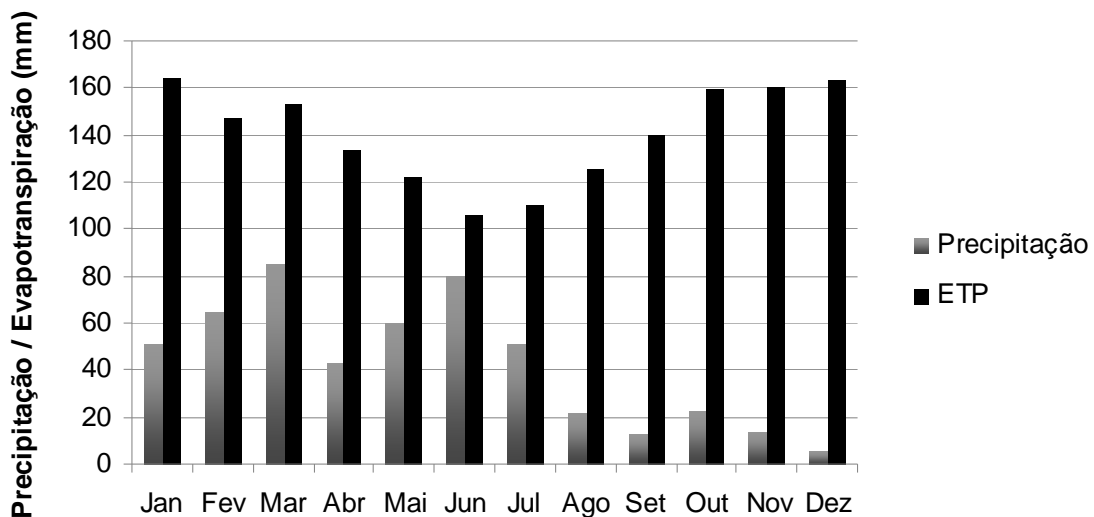


Figura 11 – Dados de precipitação e evapotranspiração potencial (ETP) do município de Pesqueira. Fonte: Adaptado de SARA (2008) e Hargreaves (1977).

A Figura 12 apresenta áreas de demanda de captação de água de chuva conforme precipitação anual e hidrogeologia no Nordeste do Brasil. Observa-se que a região Nordeste, e particularmente o semi-árido, possui uma necessidade muito grande de captar

água de chuva. Neste contexto, o uso de cisternas como suprimento de água para a demanda difusa no semi-árido tem apresentado bons resultados, porque a água armazenada nesses sistemas, por serem fechados e semi-enterrados, não é muito susceptível a evaporação (Silva, 2006). Porém, segundo Silans (2002), embora a captação de água de chuvas seja eficaz para suprir uma parte da demanda por água das famílias no semi-árido, ela não deve ser considerada a solução para a escassez hídrica no semi-árido. Basicamente, as cisternas promovem uma segurança estratégica sobre água necessária para consumo humano. Os habitantes do semi-árido possuem outras necessidades como água para o rebanho, plantação e para consumo doméstico.

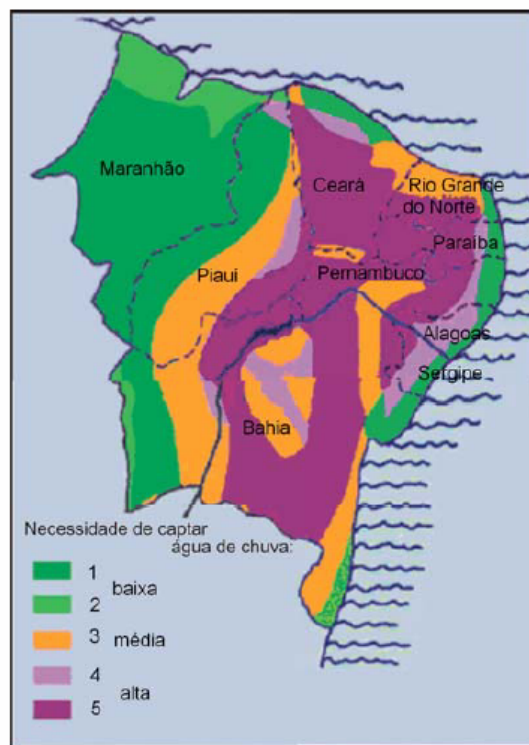


Figura 12 – Demanda de águas de chuva na região Nordeste. Fonte: IRPAA (2008).

3.1.6 Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) da região

O Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é calculado com o objetivo de oferecer um contraponto a outro indicador muito utilizado que considera apenas a dimensão econômica do desenvolvimento, o Produto Interno Bruto (PIB) per capita. O IDH é obtido por meio de uma média aritmética composta de três sub-índices: referentes à longevidade (IDH-Longevidade), Educação (IDH-Educação) e renda (IDH-Renda) (PNUD, 2009).

Além de computar o PIB per capita, depois de corrigi-lo pelo poder de compra da moeda de cada país, o IDH também leva em conta dois outros componentes: a longevidade e a educação. Para aferir a longevidade, o indicador utiliza números de expectativa de vida ao nascer. Para aferir o item educação leva-se em conta o índice de analfabetismo e a taxa de matrícula em todos os níveis de ensino. A renda é mensurada pelo PIB per capita, em dólar PPC (paridade do poder de compra, que elimina as diferenças de custo de vida entre os países) (PNUD, 2009). Essas três dimensões têm a mesma importância no índice, que varia de zero a um.

Em Pernambuco o IDH aumentou entre a década de 90 e o ano 2000, subindo de 0,620 para 0,705, enquanto o Brasil subiu de 0,696 para 0,766. Em comparação a outros estados do Nordeste, Pernambuco tem o maior IDH empatando apenas com o Rio Grande do Norte. Pesqueira possui um IDH de 0,636, que não é um dos mais baixos do Estado. O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD classifica o IDH do Brasil como médio. Para estabelecer uma referência com alguns países em desenvolvimento o IDH do Brasil fica próximo ao do Cazaquistão, México e Cuba.

3.2 Sistemas de captação de águas de chuva

3.2.1 Seleção dos locais de instalação

Os dois locais escolhidos para instalação dos modelos piloto situam-se na comunidade de Canela-de-ema, que situa-se no Semi-árido Brasileiro, no povoado de Mimoso, município de Pesqueira, região do agreste do estado de Pernambuco, a 238 km do Recife. Pesqueira localiza-se a uma latitude 08°21'28" sul e a uma longitude 36°41'45" oeste, a uma altitude de 654 metros. Em virtude das condições de clima e de solo, discutida anteriormente, é uma região historicamente conhecida pelo subdesenvolvimento e pela convivência com a escassez de água e comida. Periodicamente, secas prolongadas castigam ainda mais a região e a situação ganha proporções de emergência e calamidade.

Para escolha da comunidade a ser estudada considerou-se a realização de estudos climatológicos já desenvolvidos e em andamento e o benefício social que esta ação pôde representar para a localidade, uma vez que a mesma não contava com nenhuma forma de abastecimento de água convencional. Até recentemente, os moradores da localidade tinham disponíveis apenas os recursos hídricos de um açude próximo (Figura 13), onde a água tem aspecto ruim, com cor e odor bastante acentuados, indicando que a mesma não possui a qualidade adequada para o consumo humano, conforme determina a Portaria 518/2004. A

água deste manancial era usada para abastecimento humano, através de baldes e latas, e dessedentação animal, diretamente nas margens do açude.



Figura 13 – “Açude do Campo”, utilizado pelos moradores de Canela da Ema nos períodos de estiagem.

Nos últimos anos a população local foi contemplada pelo Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) e vem utilizando este sistema como fonte alternativa de abastecimento de água, o qual foi muito bem recebido pela população. Visando identificar, principalmente, as características de manejo, foram selecionados dois tipos de usuários com tipologias de telhado distintas: uma agrovila (Figura 14a) e uma escola rural (Figura 14b), ambas localizadas em Canela de Ema. Em ambos os casos os usuários dos sistemas foram consultados sobre as intervenções previstas, tendo concordado com as ações planejadas e apresentadas previamente aos mesmos.



(a) Vila de casas conjugadas (agrovila).



(b) Escola Municipal São José

Figura 14 – Edificações selecionadas para as intervenções localizadas em Canela de Ema.

Os critérios para escolha da agrovila e da Escola foram: necessidade de água da comunidade; disposição (usuários) de cooperar com os métodos e objetivos da pesquisa; e de participar de cursos e reuniões sobre educação ambiental e utilização de águas de captação de chuvas.

3.2.2 Estudo tudo da disponibilidade hídrica dos locais de instalação dos sistemas

Seguindo o método de dimensionamento adaptado de Jalfim (2001) e Silva (2006), ambos já apresentados no Capítulo 2, item 2.5, foram realizados estudos de disponibilidade hídrica para o uso dos telhados, tanto da escola rural quanto da vila de casas conjugadas, para o abastecimento de água destes dois locais. O consumo diário de água por pessoa considerado no estudo foi de 6 L por pessoa por dia, conforme proposto Jalfim (2001). Os dados de precipitação utilizados foram a média mensal da série histórica de 15 anos (1992 a 2007) fornecidos pela SARA – Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária de Pernambuco. Para a área de captação utilizada nos cálculos, foi realizada a medição dos telhados da escola rural e da vila de casas conjugadas, no local, e calculadas as áreas dos mesmos. O coeficiente de *runoff* adotado foi de 0,85 (Thomaz, 2003).

Os estudos podem ser observados nos subitens 3.2.2.1 e 3.2.2.2.

3.2.2.1 Escola rural

Primeiro foi realizado um estudo do volume de água necessário para suprir o consumo mensal dos 19 usuários identificados na escola rural, conforme se pode observar na Tabela 2.

Tabela 2 – Estudo do volume mensal necessário para os usuários da Escola Rural.

Meses	Número de usuários	Consumo pessoal diário (Jalfim, 2001)	Número de dias do Mês	Volume (L) necessário para suprir as famílias
Jan	19	6	31	3534
Fev	19	6	28	3192
Mar	19	6	31	3534
Abr	19	6	30	3420
Mai	19	6	31	3534
Jun	19	6	30	3420
Jul	19	6	31	3534
Ago	19	6	31	3534
Set	19	6	30	3420
Out	19	6	31	3534
Nov	19	6	30	3420
Dez	19	6	31	3534

Após o estudo da demanda de água mensal necessária, foi realizado o estudo do volume de água possível de ser captado usando o telhado da escola rural, conforme se pode observar na Tabela 3.

Tabela 3 – Volume mensal possível de ser captado com uso do telhado da escola.

Meses	Precipitação (m)	Coefficiente de escoamento	Área de captação (m ²)	Volume disponível (m ³)
Jan	0,051	0,850	98,56	4,2726
Fev	0,064	0,850	98,56	5,3667
Mar	0,085	0,850	98,56	7,1260
Abr	0,043	0,850	98,56	3,5973
Mai	0,060	0,850	98,56	5,0316
Jun	0,079	0,850	98,56	6,6443
Jul	0,051	0,850	98,56	4,2466
Ago	0,021	0,850	98,56	1,7802
Set	0,013	0,850	98,56	1,0790
Out	0,022	0,850	98,56	1,8431
Nov	0,014	0,850	98,56	1,1310
Dez	0,005	0,850	98,56	0,4449

Fazendo-se então a comparação entre os volumes armazenados e volumes necessários mês a mês, têm-se a disponibilidade de água para suprir os usuários, conforme se pode observar no Tabela 4.

Tabela 4 – Estudo da disponibilidade hídrica.

Meses	Volume captado no mês (L)	Volume Acumulado (L)	Volume consumido no mês (Famílias)	Volume consumido no mês (Acumulado)	Volume (L) armazenado
Jan	4.273	4.273	3534	3534	739
Fev	5.367	9.639	3192	6726	2.913
Mar	7.126	16.765	3534	10260	6.505
Abr	3.597	20.363	3420	13680	6.683
Mai	5.032	25.394	3534	17214	8.180
Jun	6.644	32.038	3420	20634	11.404
Jul	4.247	36.285	3534	24168	12.117
Ago	1.780	38.065	3534	27702	10.363
Set	1.079	39.144	3420	31122	8.022
Out	1.843	40.987	3534	34656	6.331
Nov	1.131	42.118	3420	38076	4.042
Dez	445	42.563	3534	41610	953

Os resultados indicaram que o telhado da escola rural fornece área de captação suficiente para suprir a demanda de água para beber e cozinhar dos 19 usuários da escola.

Temos ainda uma sobra de 953 L armazenada na cisterna ao final do ano, que em um ano de poucas chuvas pode ser usado para ajudar a vencer o período de estiagem.

3.2.2.2 Vila de casas conjugadas

De forma similar à escola rural, foi realizado um estudo do volume de água necessário para suprir o consumo mensal dos 17 usuários identificados na vila de casas conjugadas, conforme se pode observar na Tabela 5.

Tabela 5 – Estudo do volume mensal necessário para os usuários.

Meses	Número de usuários	Consumo pessoal diário (Jalfim, 2001)	Número de dias do Mês	Volume (L) necessário para suprir as famílias
Jan	17	6	31	3162
Fev	17	6	28	2856
Mar	17	6	31	3162
Abr	17	6	30	3060
Mai	17	6	31	3162
Jun	17	6	30	3060
Jul	17	6	31	3162
Ago	17	6	31	3162
Set	17	6	30	3060
Out	17	6	31	3162
Nov	17	6	30	3060
Dez	17	6	31	3162

O estudo realizado do volume de água possível de ser captado usando o telhado da vila de casas conjugadas pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 – Volume mensal possível de ser captado com uso do telhado da escola.

Meses	Precipitação (m)	Coefficiente de escoamento	Área de captação (m ²)	Volume disponível (m ³)
Jan	0,051	0,850	90,12	3,9067
Fev	0,064	0,850	90,12	4,9071
Mar	0,085	0,850	90,12	6,5158
Abr	0,043	0,850	90,12	3,2893
Mai	0,060	0,850	90,12	4,6007
Jun	0,079	0,850	90,12	6,0753
Jul	0,051	0,850	90,12	3,8830
Ago	0,021	0,850	90,12	1,6278
Set	0,013	0,850	90,12	0,9866
Out	0,022	0,850	90,12	1,6852
Nov	0,014	0,850	90,12	1,0341
Dez	0,005	0,850	90,12	0,4068

Na Tabela 7 pode-se observar a comparação entre os volumes armazenados e volumes necessários mês a mês. Desta forma pode-se avaliar a disponibilidade hídrica para os usuários da vila de casas conjugadas.

Tabela 7 – Estudo da disponibilidade hídrica.

Meses	Volume armazenado no mês (L)	Volume Acumulado (L)	Volume consumido no mês (Famílias)	Volume consumido no mês (Acumulado)	Volume (L) disponível para o mês seguinte
Jan	3.907	3.907	3 162	3162	745
Fev	4.907	8.814	2856	6018	2.796
Mar	6.516	15.330	3162	9180	6.150
Abr	3.289	18.619	3060	12240	6.379
Mai	4.601	23.220	3162	15402	7.818
Jun	6.075	29.295	3060	18462	10.833
Jul	3.883	33.178	3162	21624	11.554
Ago	1.628	34.806	3162	24786	10.020
Set	987	35.792	3060	27846	7.946
Out	1.685	37.478	3162	31008	6.470
Nov	1.034	38.512	3060	34068	4.444
Dez	407	38.918	3162	37230	1.688

O resultados indicaram que o telhado da vila de casas conjugadas fornece área de captação suficiente para suprir a demanda de água para beber e cozinhar dos 17 usuários moradores da vila de casas conjugadas. Temos ainda uma sobra de 1.688 L armazenada na cisterna ao final do ano, que em um ano de poucas chuvas pode ser usado para ajudar a vencer o período de estiagem.

3.2.3 Dimensionamento dos dispositivos de descarte das primeiras águas de cada precipitação

Conforme mencionado no capítulo 2, os dispositivos de descarte das primeiras águas de cada precipitação devem ser dimensionados de modo que descartem de 1 a 2 mm de cada precipitação. O dimensionamento, portanto, consiste em multiplicar 1 mm (0,001 m) pela área de captação. Isto representará o volume do primeiro milímetro de precipitação que é direcionado para o armazenamento. A área de captação da escola rural é de 98,56 m² e da vila de casas conjugadas é de 90,12 m². O volume que deveria ser descartado por cada dispositivo, foi de, respectivamente, 0,099 m³ (99 L) na escola rural e 0,090 m³ (90 L) na vila de casas conjugadas.

Considerando que o dispositivo teria a forma quadrada, então, cada dispositivo possuindo as dimensões de 0,50 m de largura por 0,50 m de comprimento, 0,45 m de altura

e capacidade para armazenar $0,11 \text{ m}^3$ de água de chuvas seria suficiente para descartar o primeiro milímetro de precipitação. Os esquemas destes dispositivos podem ser observados nas Figuras 15a e 15b. A Figura 15a representa um dispositivo fundamentado no princípio dos vasos comunicantes que foi instalado na escola rural, a Figura 15b representa um dispositivo fundamentado no princípio do fecho hídrico instalado na vila de casas conjugadas.

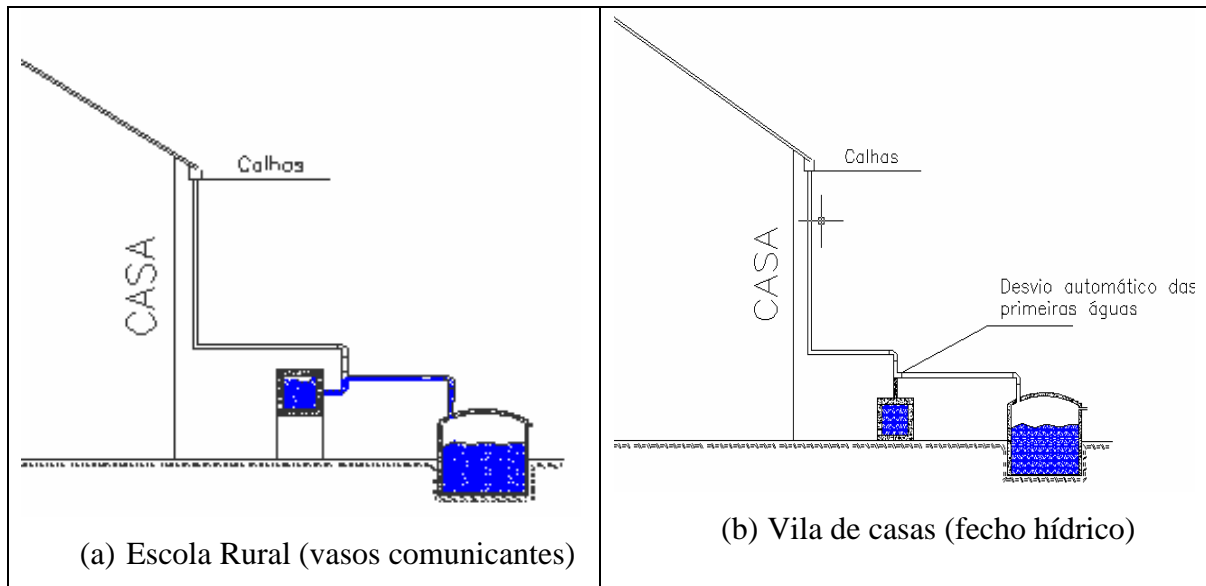


Figura 15 – Esquemas dos dispositivos de descarte das primeiras águas de cada precipitação

3.2.4 Projeto

O projeto dos sistemas para aproveitamento de águas de chuva foi realizado pela equipe do projeto, do qual esta pesquisa fez parte: “Melhoramentos Tecnológicos e Educação Ambiental para a Sustentabilidade dos Projetos de Armazenamento de Água de Chuva em Cisternas no Nordeste Semi-Árido”. Os dois sistemas foram projetados para serem dotados de barreiras sanitárias tais como um dispositivo de descarte automático das primeiras águas de cada precipitação e bombas manuais. A finalidade foi comparar a água de uma das cisternas que possui dispositivos das primeiras águas com outra que não possui. Como pode-se observar nas Figuras 16 e 17, os projetos dos sistemas de aproveitamento contaram com duas cisternas independentes, sendo uma dotada de dispositivo automático das primeiras águas e a outra não. Contaram também com um módulo misturador, para que a água proveniente dos dois telhados se misturem e depois sejam divididas de forma igual, homogeneizando, assim, a qualidade da água que irá para as duas cisternas. Na Figura 16 pode-se observar o esquema do sistema de aproveitamento

de águas de chuva da vila de casas conjugadas que contou com um dispositivo automático de descarte das primeiras águas embasado no princípio dos vasos comunicantes. Já na Figura 17 pode-se observar o esquema do sistema de aproveitamento de águas de chuva instalado Escola Municipal São José que possui um dispositivo de descarte automático das primeiras águas embasado no princípio do fecho hídrico.

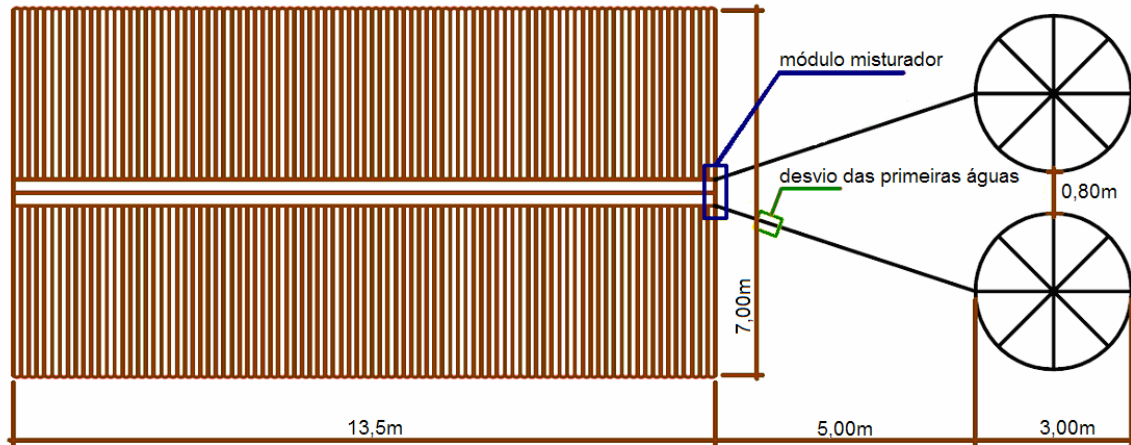


Figura 16 – Projeto de instalação do modelo piloto na agrovila.

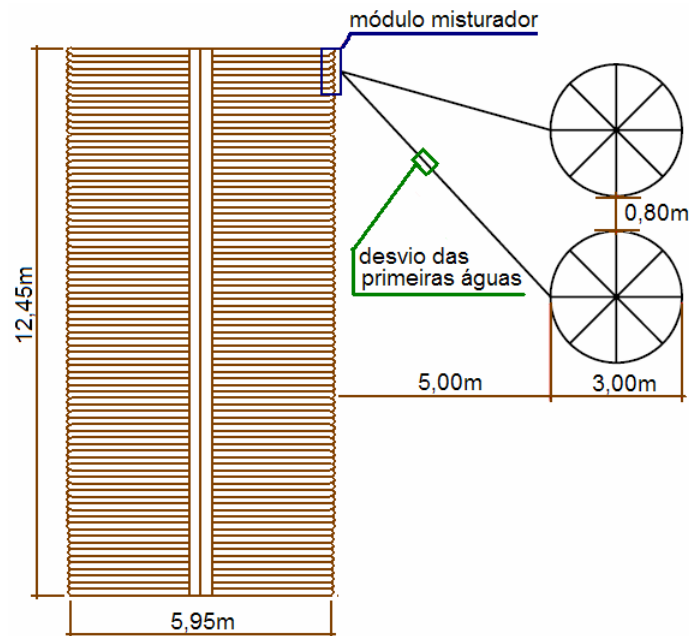


Figura 17 – Projeto de instalação do modelo piloto na Escola.

3.2.5 Instalação

O método construtivo escolhido para as cisternas foi o de placas, pois, consiste em um método amplamente divulgado e empregado pelo pessoal da região. Tal como foi descrito, este método consiste em fabricar os elementos construtivos para as cisternas, as chamadas placas, que são construídas usando argamassa de areia e cimento (material

encontrado em qualquer armazém da região). Os outros materiais utilizados, como tubulações e calhas também são padronizados e fáceis de encontrar nos armazéns.

O procedimento para confecção das cisternas compreendeu a escavação manual, uma vez que a obra é semi-enterrada (Figura 18a), a confecção das placas de composição das paredes laterais e do teto (Figura 18b). Após esta etapa foram assentadas as placas das paredes e depois revestidas (Figuras 18e e 18f), depois foram assentadas e revestidas as placas do teto (Figuras 18g e 18h).



(a) Escavação manual



(b) Confecção das placas das paredes



(c) Assentamento das placas das paredes



(d) Revestimento das paredes



(e) Assentamento das placas do teto



(f) Revestimento das cisternas

Figura 18 – Etapas da construção das cisternas

Após a conclusão das cisternas, foram instaladas as calhas e as tubulações (Figuras 19a e 19b). Visando homogeneizar a água que escoa pelos dois lados em ambos os telhados, foram instalados, em cada modelo piloto, um módulo misturador (Figura 19c e 19d). Além disso, foram instalados desvios automáticos das primeiras águas de chuva, sendo o desvio da escola (Figura 19e) baseado no princípio dos vasos comunicantes e o da vila baseado no princípio do fecho hídrico (Figura 19f). Na figura 20 pode-se observar os esquemas dos dois tipos de desvios, dos vasos comunicantes (Figura 20a) e do fecho hídrico (Figura 20b).



(a) Calhas da vila de casas conjugadas



(b) Calhas da Escola Municipal São José



(c) Módulo Misturador da Escola



(d) Módulo Misturador da Vila



(e) Desvio da escola rural



(f) Desvio da vila de casas conjugadas



(g) Desvio da escola rural



(h) Desvio da vila de casas conjugadas

Figura 19 – Fase de acabamento da obra

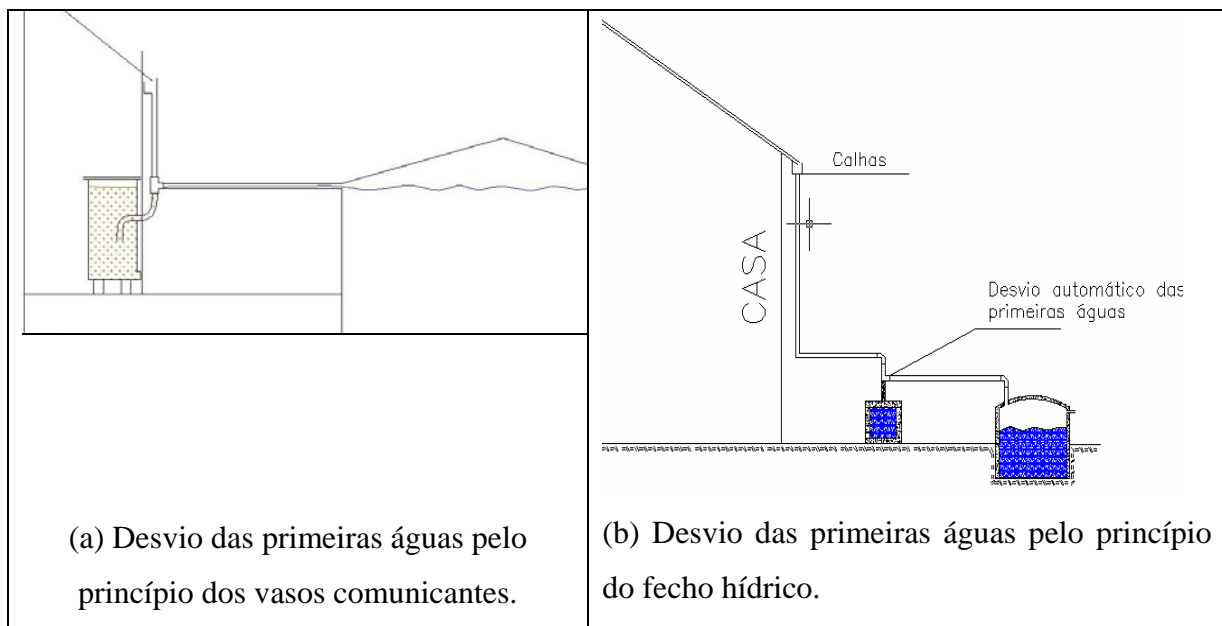


Figura 20 – Esquemas dos tipos de desvio das primeiras águas

3.2.6 Experimento

Devido ao termino das obras de instalação dos sistemas em época de estiagem na região, optou-se por realizar a coleta da água do sistema a partir de uma “chuva simulada”, sendo este o experimento descrito neste item. O experimento consistiu, portanto, em simular uma precipitação superior a 5 mm (quantidade suficiente para circular em todo o sistema captação-descarte-armazenamento, pois o equipamento de descarte das primeiras águas de cada chuva irá armazenar metade do primeiro milímetro da precipitação total nos dois telhados, visto que metade da água será direcionada para a cisterna sem dispositivo de descarte), coletar a água no sistema em pontos específicos de investigação e analisar a água coletada. Pretendeu-se, desse modo, identificar os pontos do sistema teto-dutos-cisterna passíveis de contaminação.

Foram escolhidos seis pontos para amostragem da água, que também estão de acordo com o projeto “Melhoramentos Tecnológicos e Educação Ambiental para a Sustentabilidade dos Projetos de Armazenamento de Água de Chuva em Cisternas no Nordeste Semi-Árido”, conforme pode-se observar na Figura 21, elaborada pela equipe do projeto. Estes pontos:

- Ponto A: água da chuva (simulada).
- Ponto B: água localizada no interior do dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva.
- Ponto C: água que chegou à cisterna após o enchimento do dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva.
- Ponto D: água armazenada na cisterna, após o dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva.
- Ponto D': água na saída da bomba da cisterna que possui dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva.
- Ponto E: água armazenada na cisterna que não possui dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva.
- Ponto E': água na saída da bomba que não possui dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva.

Os objetivos da seleção de cada um desses pontos de coleta estão apresentados na Tabela 8. A água utilizada no experimento representando a água de chuva que chega ao telhado foi fornecida por uma companhia de abastecimento por meio de um caminhão pipa.

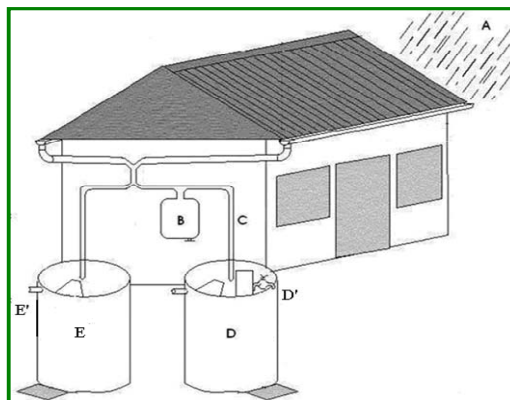


Figura 21 – Esquema de localização dos pontos de amostragem de água no sistema.

Tabela 8 – Objetivos dos pontos de coleta

Ponto de coleta	Objetivo
A	Investigar a qualidade original da água de chuva (simulação).
B	Investigar a qualidade da água que passou pelo teto e pelas calhas e que foi desviado.
C	Investigar o desempenho do dispositivo de descarte das primeiras águas de chuva.
D e E	Investigar a qualidade da água armazenada nas cisternas.
D' e E'	Investigar a qualidade da água na saída das bombas.

O experimento foi realizado, então, conforme detalhamento apresentado a seguir.

1º) Limpeza do interior das cisternas:

As cisternas foram limpas com água fornecida pela Companhia Pernambucana de Saneamento e Esgoto – COMPESA e esta água foi transportada por meio de carros pipa da região. O operador responsável pela limpeza usou escova, pá, vassouras, luvas e botas de borracha novas e lavadas anteriormente com água (a mesma utilizada na limpeza propriamente dita) (Figura 22a).

2º) Enchimento das cisternas:

Após a limpeza e antes de iniciar o experimento, as cisternas foram enchidas com a mesma água utilizada na limpeza até o nível onde se pudesse succionar a água através das bombas manuais de cada cisterna (Figura 22b).

3º) Amostragem do Ponto A:

Foram retiradas amostras de água do caminhão pipa (Figura 23) que correspondem ao ponto “A” (Figura 21).

4º) Simulação da chuva:

Para simulação da chuva foi utilizada uma mangueira de ½ polegada com 35 m de comprimento, sobre a qual foram realizados furos de 2 cm de diâmetro a cada 5 cm de mangueira. A mangueira foi colocada sobre o telhado, ao longo do comprimento, com vistas a garantir a uniformidade do escoamento e assim simular a precipitação. Esta

mangueira foi conectada a uma bomba elétrica, que, por sua vez estava ligada ao caminhão pipa. Enquanto a água passava por todo o sistema foram retiradas amostras de água dos pontos B, C, D, D', E e E' (Figura 21).

A simulação da chuva foi realizada nos telhados da escola rural (Figura 24a), e na vila de casas conjugadas (Figura 24b). Ao todo foram utilizados 492,80 L de água durante a simulação de chuvas na escola rural e 450,60 L na vila de casas conjugadas, ambos os valores correspondem a uma precipitação de 5 mm.



(a) Limpeza do interior da cisterna.



(b) Enchimento da cisterna

Figura 22 – Etapas, antes da simulação da chuva, do experimento.



Figura 23 – Coleta de água do ponto A.



(a) Escola rural.



(b) Agrovila

Figura 24 – Simulação da chuva.

5º) Amostragem nos Pontos B, C, D, D', E e E':

Foram retiradas amostras de água em cada um dos demais pontos de investigação esquematizados na Figura 21. Fotos da realização destas coletas estão apresentadas na (Figura 25).



Figura 25 – Retirada de amostras de água nos pontos E e E'.

6º) Realização de análises da água:

Após a retirada das amostras de água, foram realizadas as análises dos parâmetros descritos na Tabela 9.

Tabela 9 – Métodos de análises dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos

Parâmetro	Método de análise
Oxigênio dissolvido	Eletrométrico: se baseia na taxa de difusão do oxigênio através de uma membrana (o fluxo de oxigênio na membrana é proporcional a concentração de oxigênio no meio) (Silva e Oliveira, 2001).
Salinidade/conductividade	Conduvímetero.
Cloro residual	Ortotolidina: consiste em adicionar esta substância reagente a uma pequena amostra de água e comparar a tonalidade da mesma com uma escala graduada de por diversas tonalidades de roxo (Silva e Oliveira, 2001).
Coliformes totais e termotolerantes	<i>Colilert</i> ®: Método enzimático fundamentado no substrato orto-nitrofenil-b-D-galactopiranosídeo

	(ONPG) (APHA, 1998), que é hidrolizado a orto-nitrofenol através da ação da enzima <i>β</i> -galactosidase produzida pelos coliformes totais.
Bactérias heterotróficas	Pour Plate Method: verte-se o meio de cultura fundido e estabiliza-se em banho Maria sobre a amostra de água, o que permite o crescimento bacteriano no interior do Agar.
Turbidez	Nefelométrico: consiste em usar um instrumento que emite uma luz no sentido longitudinal a uma célula que contém uma pequena quantidade da amostra a ser analisada e estudar a reflexão desta luz por meio de um aparelho.
Alcalinidade	Titulométrico: consiste em, gotejar com uso de uma bureta, um determinado volume de amostra de água em solução de ácido sulfúrico de normalidade N, sob agitação discreta, até que a mistura mude de cor (Silva e Oliveira, 2001).
Sólidos Dissolvidos Totais	Condutímetro: aparelho que mostra a quantidade de sólidos dissolvidos totais em leitura direta (Silva e Oliveira, 2001).
Cor aparente	Nefelométrico: conforme já explicado no parâmetro turbidez.
Ferro	Kit específico para detecção de ferro.
pH	Eletrométrico: instrumento próprio para medição de pH.
Alumínio	Kit específico para detecção de alumínio.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em todos os gráficos apresentados neste capítulo denomina-se cisterna 1 a que possui desvio das primeiras águas e cisterna 2 a que não possui desvio das primeiras águas. A cor cinza representa a Escola Municipal São José e a cor preta a vila de casa conjugadas. Os pontos A, B, C, D, D', E e E' são os mesmos demonstrados no diagrama da Figura 21. Devido a alguns problemas operacionais, como a qualidade da água que havia disponível para a realização do experimento e a obrigatoriedade de preencher inicialmente as cisternas até a metade para poder usar as bombas manuais, alguns resultados se apresentaram inconsistentes e não puderam ser utilizados. Os resultados que demonstraram consistência e que foram realmente significantes foram os pontos A, B e C. A seguir temos a representação de todos os pontos:

A – Água do caminhão pipa utilizado para realização do experimento.

B – Água presente no interior do dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva.

C – Água que imediatamente após o dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva

D – Água do interior da cisterna que possui dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva.

D' – Água na saída da bomba manual da cisterna que possui dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva.

E – Água no interior da cisterna que não possui dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva.

E' – Água na saída da bomba manual da cisterna que não possui dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva.

4.1 Análises físico-químicas

4.1.1 Cloro residual

Na água utilizada para a simulação de chuva da vila de casas conjugadas foi detectada a presença de cloro residual no valor de 0,1 mg/L. A análise do teor de cloro residual foi realizada com o uso de um kit específico para análise de cloro, conforme relatado no capítulo 2. É necessário ressaltar que a precisão do kit não permite leituras

entre os valores 0,1 e 0,2 mg/L. A quantidade de cloro residual permaneceu próxima a 0,1 mg/l em todas as amostras de água da simulação de chuva realizada no sistema de aproveitamento da vila de casas conjugadas. Na simulação de chuva realizada na escola rural não foi detectada a presença de cloro. O cloro encontrado na água utilizada para a simulação de chuva na vila de casas conjugadas provavelmente foi proveniente da estação de tratamento de água, ou seja, se relacionou com a água de origem do experimento. Este valor está muito abaixo do valor máximo permitido de cloro para consumo humano que é de 5 mg/L, embora se recomende que haja um teor de cloro residual de 0,5 mg/L em águas distribuídas para consumo humano. A análise do cloro, neste experimento, teve a finalidade verificar se o mesmo se encontrava acima do máximo permitido (Portaria 518/04), o que não foi o caso.

4.1.2 Oxigênio dissolvido

A água utilizada nos experimentos possuía um teor de oxigênio dissolvido de 6,60 mg/L (escola) e 6,05 mg/L (vila) como pode-se observar na Figura 26 (ponto A). A quantidade de oxigênio dissolvido diminuiu após o mesmo entrar em contato com o telhado caindo para 5,75 mg/L (escola) e 5,65 mg/L (vila) (ponto B, Figura 26). Provavelmente as mudanças na quantidade de oxigênio dissolvido que pôde-se observar após a água entrar em contato com a captação foi provocada pela própria movimentação da água ao circular pelo sistema de captação, visto que não houve tempo para serem processadas reações químicas em virtude da mistura da água com a sujeira encontrada no telhado.

O resultado demonstra que houve diminuição no teor de oxigênio dissolvido quando a água entrou em contato com o telhado e com as calhas do sistema de captação. Porém, a diminuição do oxigênio dissolvido, neste caso, não foi suficiente para comprometer a qualidade da água armazenada, pois esta diminuição, na pior hipótese, não ultrapassou 12%. No ponto C os níveis de oxigênio voltaram a subir, ficando mais próximos da quantidade presente no ponto A, fornecida para o experimento.

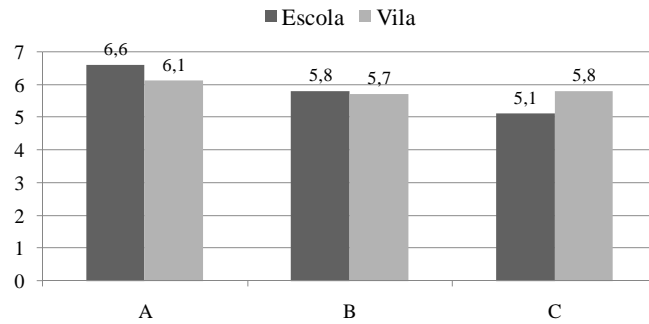


Figura 26 – Valores obtidos de oxigênio dissolvido (mg/L)

Nos pontos D, D', E e E' os valores de oxigênio dissolvidos se apresentaram próximos muito próximos aos encontrados no ponto A, porém isso aconteceu devido a diluição no interior das cisternas (as cisternas foram preenchidas com água até a metade, 8.000 L para se poder usar a bomba manual, o que inviabiliza a comparação do ponto C com os pontos D,D',E,E'.

4.1.3 Turbidez

Analisando os valores obtidos para o parâmetro turbidez (Figura 27), pode-se verificar que os mesmos se apresentaram superiores ao permitido pela Portaria 518 que é de 5,00 UNT (unidades nefelométricas de turbidez) em todos os pontos coletados. O valor elevado de turbidez, 17,64 UNT na escola e 21,53 UNT na agrovila (ponto A, Figura 27), indicam que a água utilizada no experimento não atendeu às recomendações de potabilidade para este parâmetro. Embora esta água tenha sido obtida junto à companhia de abastecimento da região, foi transportada por meio de caminhões pipa disponíveis na região, o que pode ter comprometido a qualidade da água. Como era de se esperar, no interior dos dispositivos para descarte das primeiras águas de chuva, este parâmetro permaneceu elevado, 58,70 UNT na escola e 65,79 UNT na agrovila (ponto B, Figura 27), uma vez que as primeiras águas de chuva, normalmente, carregam as partículas que se depositam sobre o telhado entre as chuvas. Como se pode observar, após os desvios das primeiras águas a turbidez diminuiu demonstrando a eficiência dos dispositivos de descarte em reter as partículas carregadas do telhado em seu interior (ponto C, Figura 27). Porém, o dispositivo instalado na vila de casas conjugadas, que é baseado no princípio do fecho hídrico, foi mais eficiente para reduzir a turbidez, pois reduziu de 65,79 UNT para 14,03 UNT (redução de 79%), fazendo com que a turbidez voltasse ao mesmo nível da água do caminhão pipa utilizada no experimento. Já o dispositivo instalado na escola rural, que é

baseado no princípio dos vasos comunicantes, reduziu a turbidez de 58,70 UNT para 45,30 UNT (redução de 23%).

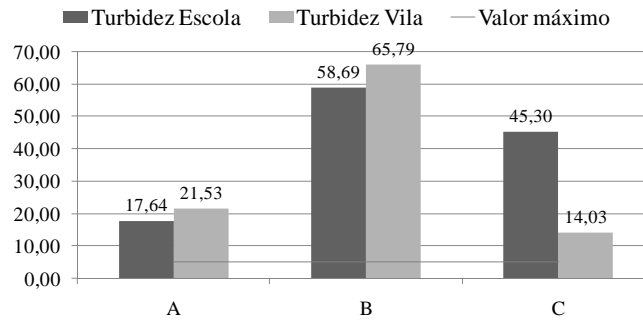


Figura 27 – Valores obtidos de turbidez (UNT).

Os resultados obtidos com o parâmetro turbidez demonstraram a eficácia dos dois dispositivos de descarte das primeiras águas de cada precipitação. Como pôde-se observar, após o desvio da vila de casas conjugadas, por exemplo, os valores obtidos de turbidez foram inferiores aos valores de turbidez obtidos com a água utilizada no experimento, embora esta tivesse com valores de turbidez elevados.

No interior das cisternas, pontos D e E, os níveis de oxigênio dissolvido voltaram a ficar próximos ao ponto A, antes da água entrar em contato com a captação, porém isto aconteceu devido a diluição com a água que já se encontrava no interior das cisternas e que possuía a mesma qualidade do ponto A.

4.1.4 Cor Aparente

Na Figura 28, a cor aparente é representada em unidades de Hazen, uH. A turbidez da água antes de entrar em contato com o telhado estava com 228,0 uH na escola rural e 295,0 uH, na vila de casas conjugadas (ponto A, Figura, 28). Ambos os valores estavam muito acima do que permite a legislação, 15,0 uH. No interior dos dispositivos de descarte das primeiras águas houve diminuição da cor aparente para 218,5 (diminuição de 4,16%), na escola rural e 246,5 (diminuição de 16,4%), na vila de casas conjugadas (ponto b, Figura 28). A diminuição indicou que o carreamento das impurezas do sistema de captação não piorou a qualidade da água do ponto de vista da cor aparente.

Após o dispositivo de descarte das primeiras águas da vila de casas conjugadas, que é baseado no princípio do fecho hídrico, houve uma redução da cor aparente de 18% para 202,5 uH, evidenciando que este dispositivo foi eficiente para a diminuição da cor aparente. Porém, o mesmo não ocorreu com o dispositivo de descarte das primeiras águas

instalado na escola rural que se mostrou ineficiente para diminuir a cor aparente, aumentando 21%, passando de 288,0 uH para 335,5 uH (ponto C, Figura 28).

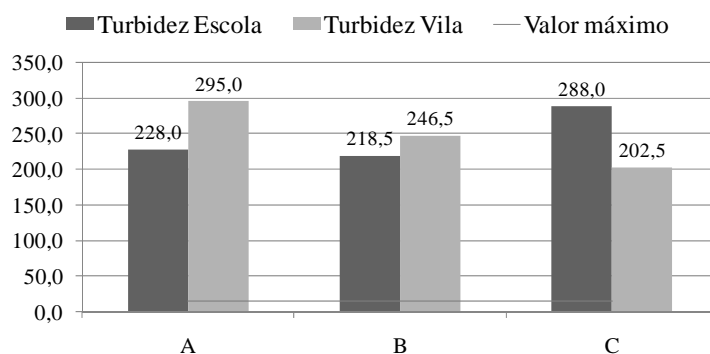


Figura 28 – Valores obtidos de cor aparente em Unidades de Hazen (uH).

Os resultados obtidos de cor aparente indicaram que o dispositivo de descarte das primeiras águas de cada precipitação instalado na vila de casas conjugadas foi eficaz em reduzir os valores de turbidez da água. Não pôde-se, no entanto, demonstrar a mesma eficácia com o dispositivo instalado na escola rural nesta primeira experimentação, evidenciando a necessidade de, posterior, repetição do experimento para melhor análise deste dispositivo que é baseado no princípio dos vasos comunicantes.

No interior das cisternas, pontos D, D', E e E'.

4.1.5 Sólidos dissolvidos totais

Como pode-se observar na Figura 29, os sólidos dissolvidos totais em todos os pontos do sistema ficaram dentro dos padrões de potabilidade que é de 1.000 mg/L. Porém houve um aumento na quantidade de sólidos dissolvidos após a água passar pelo sistema de captação dos modelos piloto (ponto B, Figura 29). Este aumento pode ter sido ocasionado pela dissolução de partículas presentes no telhado e nas calhas e o transporte destas substâncias para o interior do desvio (ponto B, Figura 29).

Mais uma vez o desvio instalado na vila de casas conjugadas, baseado no princípio do fecho hídrico, foi mais eficiente para reduzir a quantidade de sólidos dissolvidos. A redução foi de 43,60 mg/L para 36,90 mg/L (redução de 15% no teor de sólidos dissolvidos). Já no desvio da escola rural houve o aumento no teor de sólidos dissolvidos de 53,8 mg/L para 65,20 mg/L (21%) (ponto C, Figura 29).

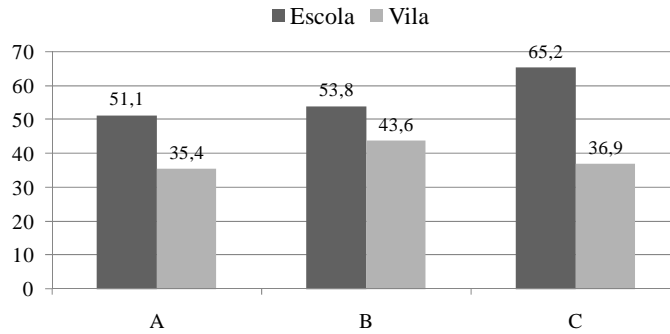


Figura 29 – Valores obtidos de sólidos dissolvidos totais (mg/L).

Os resultados obtidos de sólidos dissolvidos totais tiveram o comportamento semelhante aos resultados obtidos com a cor aparente e turbidez, o que indicou que após entrar em contato com o sistema de captação a água da precipitação simulada misturou-se a impurezas presentes no sistema de captação (telhados e calhas), gerando um aumento da turbidez, cor aparente e sólidos dissolvidos totais. Isto demonstrou, também, que houve acréscimo de impurezas em estado sólido (aumento da quantidade de sólidos dissolvidos totais). Estes sólidos podem ter sido provenientes de poeiras e outras impurezas presentes no sistema de captação.

No interior das cisternas, pontos D, D', E e E', os valores de sólidos dissolvidos totais voltaram a ficar próximos com o que foi fornecido para o experimento, indicando que isto aconteceu devido a diluição com a água presente no interior das cisternas.

4.1.6 Ferro

Como já mencionando anteriormente, a análise da quantidade de ferro foi realizada por meio do uso de um kit específico com reagente para ferro (Capítulo 2). A precisão deste kit não permite a leitura de valores de ferro entre 2 e 3 mg/L e entre 3 e 5 mg/L. A quantidade de ferro encontrada na água que passou por todo o sistema para aproveitamento de água de chuva foi de 2 mg/L e estava acima do valor máximo permitido pela legislação que é de 0,3 mg/L.

Embora a quantidade de ferro encontrada na água de chuva tenha sido superior ao permitido pela legislação, esta já se encontrava alta no momento em que foi trazida para a realização do experimento, o que pode ter acontecido em virtude do transporte desta água em carros pipa. A manutenção da quantidade de ferro em um valor constante desde o sistema de captação ao armazenamento da água indicou que não houve contaminação da água pelo ferro presente em materiais utilizados na construção das cisternas. O ferro é um constituinte do cimento, utilizado para construção das placas e para o revestimento das

cisternas. Uma das finalidades de se ter analisado este parâmetro era a possibilidade de contaminação da água por este material devido ao fato de se tratar de uma cisterna nova (período de construção inferior a um ano), o que não aconteceu.

4.1.7 Alumínio

A análise da quantidade de alumínio, da mesma forma que o ferro, também foi realizada por meio de um kit com reagente específico para alumínio (Capítulo 2). O método não permite leituras entre 0,35 a 0,50 e entre 0,50 a 0,65 mg/L. A quantidade de alumínio encontrada por este método foi de 0,5 mg/L em todas as partes do sistema para aproveitamento de águas de chuva. Este valor é superior ao máximo permitido pela legislação que é de 0,20 mg/L. Esta quantidade já chegou alta no local do experimento, o que é um indicativo que a quantidade de alumínio pode ter sido fornecida alta ou ter sido alterada no transporte da água por meio de caminhão pipa.

O fato da quantidade de alumínio ter permanecido em um valor constante indica que não houve contaminação da água pelo alumínio presente nos materiais utilizados na construção das cisternas. O alumínio é um constituinte do cimento e, semelhante ao ferro, uma das finalidades da análise deste parâmetro era a verificação da contaminação das cisternas por este material, utilizado na confecção das placas das paredes das cisternas e em seu revestimento.

4.1.8 pH

Além dos valores obtidos das análises, estão apresentados na Figura 30 os valores mínimos e máximos permitidos para o consumo humano segundo a Portaria 518. A água utilizada no experimento estava abaixo do mínimo exigido pela Portaria 518, como pode-se observar no ponto A (Figura 30). No interior dos dispositivos de descarte das primeiras águas a acidez diminuiu (ponto B, Figura 30). A diminuição da acidez pode ter ocorrido em virtude de reações químicas após dissolução de substâncias encontradas no sistema de captação (telhado, calhas e tubulação) tais como: subprodutos gerados pela dissolução da matéria orgânica proveniente de restos de folhas e animais, poeiras e partículas depositadas no sistema de captação, etc. O dispositivo de descarte da vila foi mais eficiente em manter a acidez da água em níveis próximos aos encontrados na água antes de entrar em contato com o sistema de captação do experimento, pois se compararmos o pH da água encontrada logo após o dispositivo (ponto C, Figura 30) com a água utilizada para realização do experimento antes de entrar em contato com o sistema de captação (ponto A, Figura 30),

vemos que a mesma aumentou o pH de 5,05 para 5,35, ou seja, 5,94%. Se compararmos com o desvio da escola rural o aumento foi de 4,00 para 6,39, ou seja, 59,75%.

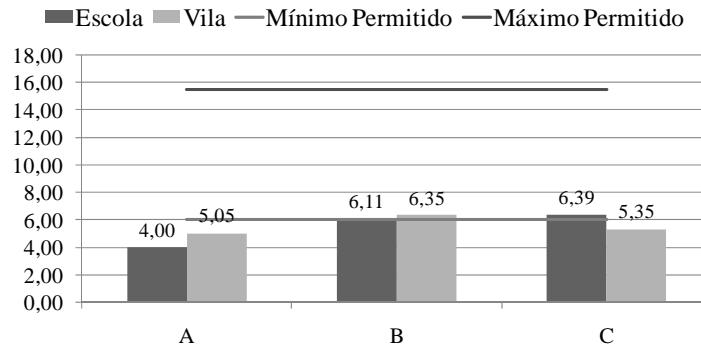


Figura 30 – Valores obtidos de pH.

Os resultados obtidos de pH demonstraram a eficácia do dispositivo de descarte das primeiras águas de cada chuva instalados na vila de casas conjugadas, que foi fundamentado no princípio do fecho hídrico, em reduzir o pH da água para níveis mais próximos ao que este se encontrava antes de entrar em contato com o sistema de captação (telhados e calhas). No caso do dispositivo instalado na escola rural, fundamentado no princípio dos vasos comunicantes, esta eficácia não se verificou com a mesma intensidade, porém há a necessidade de se repetir o experimento para um maior entendimento das causas deste dispositivo não ter obtido esta eficiência.

Os valores obtidos no interior das cisternas (pontos D, D', E, E') apresentaram resultados inconsistentes e tiveram que ser descartados.

4.1.9 Alcalinidade

Conforme observa-se na Figura 31, a alcalinidade da água utilizada no experimento foi de 0,00 mg CaCO₃/L na escola rural e de 3,22 mg CaCO₃/L na vila de casas conjugadas (ponto A, Figura 31). No interior dos dispositivos de descarte das primeiras águas dos valores de alcalinidade aumentaram para 12,67 mg CaCO₃/L na escola rural e para 16,50 mg CaCO₃/L (412,42%) (ponto B, Figura 31) na vila de casas conjugadas. Após os dispositivos de descarte das primeiras águas o valor da alcalinidade aumentou para 15,89 mg CaCO₃/L (25,40%) e diminuiu para 4,22 mg CaCO₃/L (74,40%) (ponto C, Figura 31).

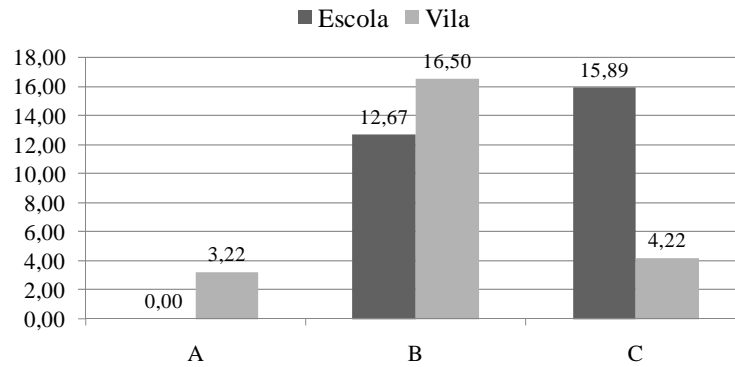


Figura 31 – Valores obtidos de Alcalinidade

Os resultados obtidos de alcalinidade demonstraram novamente a eficácia do dispositivo de descarte instalado na vila de casas conjugadas, pois, após o mesmo, a alcalinidade retornou a valores próximos à antes da água entrar em contato com o sistema de captação. O dispositivo instalado na escola rural, que é fundamentado no princípio do fecho hídrico, não teve a sua eficácia comprovada para este parâmetro neste experimento. Necessita-se, entretanto, repetir este experimento para a melhor segurança na análise deste resultado.

Os valores obtidos no interior das cisternas (pontos D, D', E, E') apresentaram resultados inconsistentes e tiveram que ser descartados.

4.2 Análises Bacteriológicas

4.2.1 Bactérias termotolerantes (*E. coli*)

Não foi detectada a presença de *E. coli* em nenhuma das amostras analisadas, inclusive no armazenamento e na saída da bomba, o que evidencia que a presença de *E. coli* em cisternas, citada em trabalhos de outros autores (Silva, 2006; Brito et al., 2005; May, 2004), provavelmente deve estar relacionada ao manuseio inadequado da água pelos usuários das cisternas, visto que a *E. coli* é uma bactéria originária exclusivamente do trato intestinal de animais de sangue quente (Braga et al., 2005). Neste experimento não houve contaminação do telhado, e conseqüentemente do sistema, por este tipo de bactéria.

4.2.2 Coliformes totais

Os resultados das análises de coliformes totais realizadas em vários pontos do sistema teto-dutos-armazenamento dos modelos pilotos instalados estão mostrados na Figura 32. Como se pode observar, a água fornecida para a realização do experimento estava livre de coliformes totais, porém ao passar pelo telhado e pelas calhas houve

contaminação desta água por coliformes totais, passando, então, de zero para 9090 coliformes totais (NMP) na escola rural, e de zero para 21780 na vila de casas conjugadas, indicando a contaminação da água ao passar pelo telhado e pelas calhas. O dispositivo de descarte das primeiras águas se mostrou eficiente uma vez que reduziu de 21780 para 990 o número mais provável de coliformes totais (redução de 95,50%) no caso da vila e de 9090 para 540 (redução de 44,55%) no caso da escola rural.

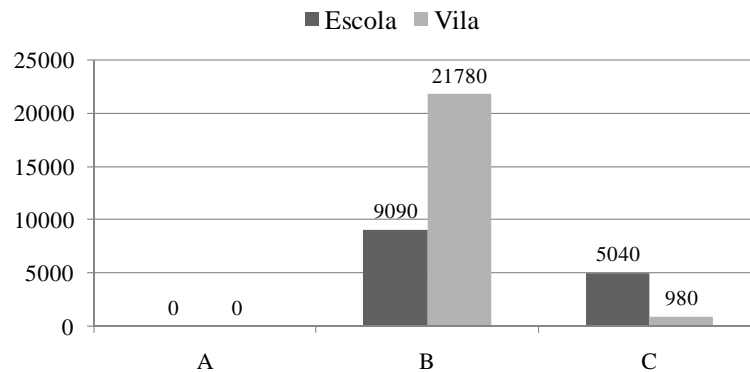


Figura 32 – Valores obtidos de coliformes totais (NMP)

Os resultados obtidos de coliformes totais indicaram que as mesmas foram contaminadas com número elevado de coliformes totais. Porém, a portaria 518/94 estabelece que em águas provenientes de fontes alternativas de abastecimento podem ser detectadas coliformes totais, desde que seja investigado a origem da contaminação, que não haja presença de coliformes termotolerantes e que se tomem as providências necessárias para a eliminação.

No interior das cisternas, pontos D, D', E e E' o número mais provável de coliformes totais voltou a ficar próximos ao que estava antes da água entrar em contato com o sistema de captação, porém não voltou a zero. A redução provavelmente aconteceu devido a diluição ocorrida no interior das cisternas.

4.2.3 Bactérias heterotróficas

Na Figura 33, a cor cinza corresponde à contagem padrão em placas de Unidades Formadoras de Colônia (UFC) relativas a bactérias heterotróficas presentes no sistema tetos-dutos-armazenamento do sistema para aproveitamento e águas de chuva instalado na escola rural, a cor preta representa a mesma contagem padrão para o sistema instalado na vila de casas conjugadas.

Como se pode observar, a água utilizada no experimento estava dentro dos padrões de potabilidade com 16,50 UFC na escola rural e com 9,5 UFC na vila de casas

conjugadas, a portaria 518 estabelece como valor máximo 500 Unidades Formadoras de Colônia. No interior dos dispositivos de descarte das primeiras águas, houve um aumento do número de bactérias heterotróficas para 58 UFC na escola rural e 1070 UFC na vila de casas conjugadas, indicando que houve contaminação por bactérias heterotróficas após a água entrar em contato com o telhado e passar pelas calhas (captação).

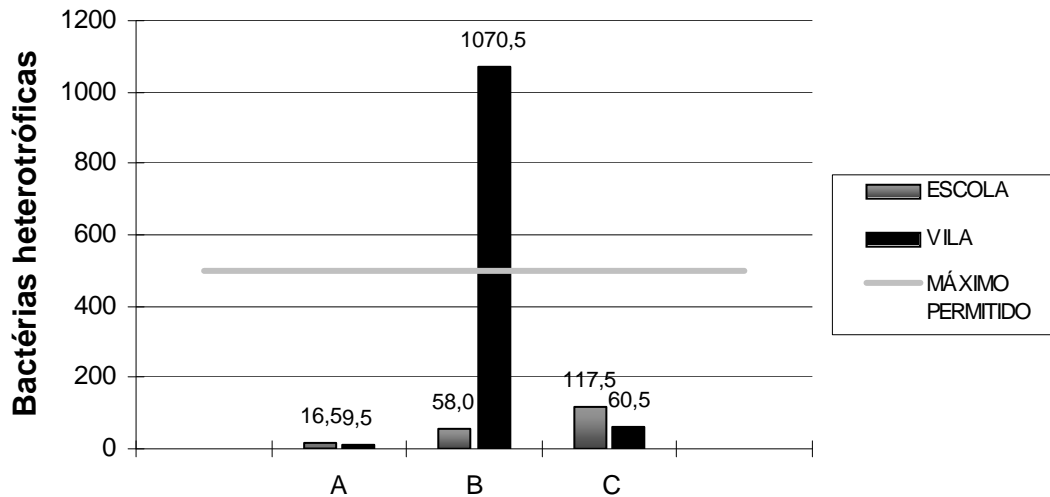


Figura 33 – Valores obtidos de bactérias heterotróficas (UFC).

Como pôde-se observar o dispositivo da vila de casas obteve êxito, reduzindo o número de bactérias de 1070 UFC para 60,50 UFC (94,39%). Os resultados obtidos não comprovaram, porém, a eficácia do dispositivo de descarte das primeiras águas instalado na vila de casas conjugadas. Após o mesmo, a quantidade de unidades formadoras de colônia aumentou de 58 para 117 UFC, indicando, desta forma, a necessidade de maiores estudos sobre este dispositivo que é fundamentado no princípio dos vasos comunicantes. Os resultados de ambos os dispositivos, no entanto, permaneceram abaixo do máximo permitido pela Portaria 518/04, o que indica o não comprometimento da água para o consumo humano.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Embora considerando as dificuldades operacionais inerentes à realização de uma pesquisa de campo, os resultados obtidos indicaram características importantes sob o ponto de vista da captação e armazenamento da água de chuva em cisternas e que contribuirão para estudos mais detalhados sobre o tema.

Sobre os aspectos físico-químicos, a qualidade da água, embora se tratassem de cisternas novas, caso em que se espera maior possibilidade de contaminação da água por alumínio ou ferro, estes não contaminaram a água.

O dispositivo de descarte das primeiras águas instalado na vila de casas conjugadas, que é fundamentado no princípio do fecho hídrico, obteve êxito em melhorar a qualidade da água em todos os parâmetros analisados, tanto do ponto de vista físico-químico, quanto do ponto de vista bacteriológico.

O dispositivo de descarte automático das primeiras águas instalado na escola rural obteve êxito em melhorar a qualidade da água nos parâmetros turbidez e coliformes totais, embora em menor magnitude se comparado ao dispositivo instalado na vila de casas conjugadas. Nos demais parâmetros analisados não houve a comprovação da eficácia deste dispositivo que é fundamentado no princípio dos vasos comunicantes. É necessário, no entanto, a repetição deste experimento e a realização de mais estudos sobre este tipo de dispositivo para maior segurança nos resultados obtidos neste experimento.

Não houve contaminação por *E.coli* em nenhuma parte dos sistemas. Isto indica, portanto, que a contaminação por *E.coli* em cisternas citada por vários autores provavelmente é proveniente do manejo inadequado por parte dos usuários, com exceção de locais onde se encontrem pássaros ou animais de sangue quente que tenham acesso ao sistema de captação. Isto confirma a necessidade de se tomar o cuidado de retirar a água por meio de tubulação (bomba manual), manter a cisterna bem vedada para evitar o contato de insetos e pequenos animais, etc. Quando ocorre a falta destes cuidados o próprio usuário pode contaminar a própria água ao retirá-la das cisternas com baldes e latas. Isto não aconteceu nos sistemas para aproveitamento de águas de chuva utilizados nesta pesquisa, pois foram seguidas as recomendações sobre educação ambiental.

Se for comparado o dispositivo instalado na vila de casas conjugadas com o dispositivo instalado na escola rural, o dispositivo da vila de casas conjugadas demonstrou maior eficiência em manter a qualidade da água próxima ao que esta se encontrava antes

de entrar em contato com o sistema de captação. Provavelmente isto aconteceu devido ao dispositivo fundamentado no princípio do fecho hídrico possuir uma coluna de água maior separando a água com impurezas, no interior do desvio, da água limpa proveniente do telhado. Porém, esta afirmação ainda necessita de maiores estudos.

A qualidade da água que circulou em todo o sistema se apresentou dentro dos padrões de potabilidade exigidos na Portaria 518/04 na grande maioria dos parâmetros. Em alguns parâmetros, como alumínio, ferro e turbidez, os valores não se enquadram dentro do previsto na Portaria 518/04, mas estes parâmetros já estavam fora dos padrões quando a água chegou ao local do experimento, o que indicou que as cisternas, de maneira geral, foram capazes de prover água de boa qualidade aos seus usuários.

CAPÍTULO 6

RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se, primeiramente, que o experimento seja repetido mais vezes para maior segurança nas avaliações dos resultados obtidos.

Recomenda-se, também, que sejam realizados mais estudos sobre o dimensionamento dos equipamentos de descartes das primeiras águas, inclusive com análises da qualidade da água antes e depois de passar pelo mesmo, o que poderá ajudar no dimensionamento do volume de água necessário para que o desvio seja eficaz.

Este estudo também deverá levar em conta o dimensionamento das cisternas, pois um descarte muito grande das primeiras águas de chuva pode retardar o enchimento das cisternas, fazendo com que as mesmas necessitem de uma maior área de captação.

Também seria importante um monitoramento da qualidade da água utilizada nos modelos piloto. Durante o ano poderia se obter, desta forma, dados sobre os parâmetros de qualidade da água durante todas as estações do ano. No período seco, quando o incremento de água de chuva é menor e conseqüentemente o volume armazenado na cisterna é menor, e no período chuvoso quando o volume armazenado na cisterna é maior e o incremento de água de chuvas é maior. Estes dados poderão promover um maior entendimento sobre o que acontece com a qualidade da água em um ciclo completo de enchimento e esvaziamento das cisternas.

Recomenda-se também que, por motivos de segurança sanitária, a água de cisternas quando utilizada para consumo humano seja sempre submetida à desinfecção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1992). **NBR 15527:1992 Projeto de sistema de bombeamento de água para o abastecimento público.** ABNT. Rio de Janeiro.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998). **NBR 5626:1998 Instalação predial de água fria.** ABNT. Rio de Janeiro.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007). **NBR 15527:2007 Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.** ABNT. Rio de Janeiro.

ALMEIDA, H.A.; LIMA, A.S. (2007). **O potencial para a captação de água de chuvas em tanque de pedra.** In: Anais do VI Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. , julho, Belo Horizonte.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AWWA – AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WEF – WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1998). **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** 20th ed. Washington DC (CD).

AMORIM, M.C.C.; PORTO, E.R. (2001). **Avaliação da qualidade bacteriológica das águas de cisternas: estudo de caso no município de Petrolina-PE.** In: Anais do III Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, novembro, Campina Grande.

ANDRADE NETO, C.O. (2003). **Segurança Sanitária das Águas de Cisternas Rurais.** In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, julho, Petrolina.

ARIYANANDA, T. (1999). **Comparative Review of Drinking Water Quality from Different Rain Water Harvesting Systems in Sri Lanka**. In: Proceedings Of The IX Internacional Rainwater Catchment Systems, julho, Petrolina.

ASA – ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO (2008). Disponível em: <http://www.asabrasil.org.br>. Acesso em: 12 de Julho de 2008.

BERTONI, J.C., TUCCI, C.E.M. (2004) **Capítulo 5 – Precipitação. Hidrologia – Ciência e Aplicação**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre – RS, 3 ed., p.177-241.

BOTTO, M.P. (2006). **Avaliação do processo de desinfecção solar (SODIS) e de sua viabilidade social no estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 192p.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J.G.L.; MIERIWA, J.C.; BARROS, M.T.L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. (2005). **Introdução à Engenharia Ambiental**. Ed. Prentice Hall. São Paulo, 318p.

BRASIL (2004). MINISTÉRIO DA SAÚDE – **Portaria Nº 518**, 25 de março de 2004. Disponível em <http://www.dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>. Acesso em: 29 de Maio de 2008.

BRITO, L.T.; PORTO, E.R.; SILVA, A.S.; SILVA, M.S.L.; HERMES, L.C.; MARTINS, S.S. (2005). **Avaliação das características físico-químicas e bacteriológicas das águas das cisternas da comunidade de Atalho, Petrolina-PE**. In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, julho, Teresina.

BRITO, L.T.L.; SILVA, A.S.S.; PORTO, E.R.; CAVALCANTI, N.B. (2006). **Cisternas domiciliares quantidade e qualidade das águas para consumo humano**. In: Anais do XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, agosto, João Pessoa.

CÁRITAS BRASILEIRA (2000). **Construindo a Solidariedade no Semi-árido – Cisterna de Placas - Manual de Cisterna**. Scala Gráfica e Editora, Brasília, 63p. Disponível em: www.cliquesemiario.org.br. Acesso em: 28 de Maio de 2008.

DÁVILA, L.R.; ARREDONDO, F.O.; GARCÍA, L.M. (2007). **Inactivación de coliformes totales em agua para consumo humano via luz ultravioleta y calor mediante hornos solares, em zonas urbanas y/o rurales de querétaro**. In: Anais do VI Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, julho, Belo Horizonte.

EAWAG/SANDEC (2005). **Desinfección Solar del Agua - Guia de Aplicación**, Cochabamba, Bolívia.

EYICE, S. (1979). **Bizantinische wasserversorgungsanlagen in Istanbul**. Braunschweig: Technische Universität, Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Mitteilungen, H.64.

GARDUNO, M. A. (1999). **Ancient and contemporary water catchment systems in Mexico**. In: Proceedings Of The IX Internacional Rainwater Catchment Systems, julho, Petrolina.

GNADLINGER, J. (1997). **Apresentação Técnica de Diferentes tipos de Cisternas Construídas em Comunidades Rurais no Semi-árido Brasileiro**. In: Anais do I Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, novembro, Campina Grande.

GNADLINGER, J. (2001) **Captação de água de chuva para uso doméstico e produção de alimentos: a experiência do Estado de Gansu no norte da China**. In: Anais do III Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, novembro, Campina Grande.

GNADLINGER, J. (2004) **Colheita de água de chuva em áreas rurais**. Livro eletrônico. Disponível em: <<http://www.abcmac.org.br>>. Acesso em: 14 Julho de 2008.

GNADLINGER, J. (2005). **Estratégias para uma Legalização Favorável à Captação e ao Manejo de Água de Chuva no Brasil.** In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, julho, Teresina.

GOULD, J. (1999). **Is rainwater safe to drink? A review of recent findings.** In: Proceedings Of The IX Internacional Rainwater Catchment Systems, julho, Petrolina.

HARGREAVES, G.H. (1974). **Climatic zoning for agricultural production in Northeast Brazil.** Logan: Utah State University, 6p.

HERMMANS K. (2002). **Água – uma questão de sobrevivência.** In: Água e desenvolvimento sustentável no semi-árido. Fundação Konrad Adenauer. Fortaleza, 169p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2000). **Cidades.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 14 de abril de 2008.

IRPAA - Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada (2008). Disponível em: <http://www.irpaa.org>. acessado em: 2 de novembro de 2008.

JALFIM, F. T. (2001). **Considerações sobre a viabilidade técnica e social da captação e armazenamento da água de chuva em cisternas rurais na região semi-árida brasileira.** In: Anais do III Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, novembro, Campina Grande.

JALFIM, F. T. (2003). **Cisterna de placas “calçadão”: Uma alternativa para captação e armazenamento da água de chuva de escoamento no nível do solo.** In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, julho, Petrolina.

LYE, D. J. (1992). **Microbiology of rainwater cistern systems: a review.** In: Journal of Environmental Science and Health, v. A27, n. 8, New York, p. 2123-2166.

MARENGO J.A. (2008). **Água e mudanças climáticas**. Scielo Brasil, Estudos Avançados. vol. 22, n. 63, São Paulo.

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

NEVE, P. (1971). **Regenkult-Anlagen in Bogazköy-Hattusa, ein Deutungsversuch**. Tübingen: Istanbuler Mitteilungen Beiheft V.

ÖZIS, Ü. (1982). **Outlook on ancient cisterns in anatolia, Turkey**. In: Proceedings Of The I Internacional Raiwater Catchment Systems, junho, Hawaii.

PNUB - Programa das nações unidas para o desenvolvimento (2009). Disponível em: <http://www.pnud.org.br/> acessado em: 2 de Janeiro de 2009.

PREMPRIDI, T.; CHATUTHASRY, C. (1984). **Past and present of ponds as rain-water storage in Thailand**. In: Proceedings Of The II Internacional Raiwater Catchment Systems, junho, St Thomas.

RODRIGUES, H. K.; SANTOS, L. A.; BARCELOS, H. P.; PÁDUA, V. L. (2007). **Dispositivo automático de descarte da primeira água de chuva**. In: Anais do VI Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, julho, Belo Horizonte.

SCHISTEK, H. (1999). **Caldeirão, caxio e cacimba: Três sistemas tradicionais de captação de água no nordeste brasileiro**. In: Proceedings Of The IX Internacional Raiwater Catchment Systems, julho, Petrolina.

SCHISTEK, H. (2005). **Uma nova tecnologia de construção de cisternas usando como estrutura básica tela galvanizada de alambrado**. In: Anais do V Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, julho, Teresina.

SARA – Secretaria de Agricultura e Reforma Agrária de Pernambuco (2008). Dados pluviométricos. Disponível em: www.agricultura.pe.gov.br. Acessado em 10 dezembro de 2008.

SECTMA – Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco (2006). **Atlas de Bacias Hidrográficas de Pernambuco**. Recife, 103p.

SILANS, A. P. (2002). **Alternativas Científicas e Tecnológicas para o Abastecimento de Água no Semi-árido**. In: *Água e desenvolvimento sustentável no semi-árido*. Fundação Konrad Adenauer. Fortaleza, 169p.

SILVA, S. A.; OLIVEIRA R. (2001). **Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. O autor, Campina Grande, 226p.

SILVA, C. V. (2006). **Qualidade da água de chuva para consumo humano armazenada em cisternas de placa. Estudo de caso: Araçá, MG**. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 117p.

SILVA, C. V. (2007). **Qualidade microbiológica de água de chuva armazenada em cisternas de placas, construídas em comunidades rurais do município de Araçá - MG**. In: Anais do VI Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, julho, Belo Horizonte.

SIMMONS, G.; HEYWORTH, J. (1999). **Assessing the microbial health risks of potable water**. In: Proceedings Of The IX Internacional Raiwater Catchment Systems, julho, Petrolina.

SONDA, C.; BATISTA, K. B. M.; CAMPOS, J. D.; NETO, J. R.; SAMPAIO, O. B. (2001). **A convivência da mulher com o semi-árido: a vida antes e depois das cisternas**. In: Anais do III Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva, Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, novembro, Campina Grande.

THOMAZ, P. (2003). **Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis**. Navegar Editora. São Paulo, 180 p.

TUCCI, A. E. M.; BELTRAME, L. F. S. (2004). **Capítulo 7 - Evaporação e evapotranspiração**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p. 253-287.

Wikipedia (2008). **Pesqueira**. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/pesqueira>. Acesso em: 21 de jan. 2008.

WEINER L. (1987). **Rain water cisterns in Israel's Negev desert: Past and present development**. In: Proceedings Of The III Internacional Raiwater Catchment Systems, janeiro, Tailândia.

WHO (2004). WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking water quality**. 3. Ed., Vol. 1: Recommendations, 2004.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)