

BARRAGENS SUBTERRÂNEAS –AVALIAÇÃO TÉCNICA E ANTROPOLÓGICA

Margarida Regueira da Costa¹; José Almir Cirilo²

RESUMO - A universalização do serviço de abastecimento de água é a grande meta para os países em desenvolvimento. Porém, esta ainda é uma realidade longe de ser atingida para muitos países aonde, muitas vezes a qualidade e/ou a quantidade de água que a população tem acesso elevam a números preocupantes os indicadores de saúde pública.

Em virtude de que em muitas regiões a demanda de água excede a quantidade disponível, especialmente nas regiões de clima semi-árido que representam quase um terço da superfície terrestre, onde abrigam cerca de um bilhão de pessoas e são responsáveis por quase 20 % da produção mundial de alimentos, nos últimos anos tem-se observado o desenvolvimento ou aprimoramento de tecnologias referentes ao manejo de recursos hídricos. Dentre elas pode-se destacar a exploração racional dos aquíferos aluviais que, no estágio atual de necessidades de água para a região, são tão importantes quanto os grandes aquíferos.

ABSTRACT - The universal water supply is goal for developing countries. But this is still a reality far from being achieved in many countries where often the quality and / or the amount of water that the population has access increase the numbers the public health indicators.

Given that in many areas the demand for water exceeds the amount available, especially in regions of semi-arid climate which contain about one billion people and account for almost 20% of the world food in recent years has seen the development or improvement of technologies for the management of water resources. Among them we can point out the rational exploitation of alluvial aquifers that in the current stage of water needs for the region, are as important as major aquifers.

Palavras chaves: Barragens subterrâneas; aluvião, semi-árido.

¹Engenheira Civil, Dr. – Pesquisadora em Geociências da CPRM – Serviços Geológico do Brasil. E-mail: regueira.costa@uol.com.br

² Professor, Dr. Departamento de Engenharia Civil – UFPE. E-mail: Almir.cirilo@srh.pe.gov.br

1. INTRODUÇÃO

As falhas na concepção dos sistemas de abastecimento ou no dimensionamento e escolha de tecnologias alternativas demonstram, muitas vezes, o desconhecimento das peculiaridades da região semi-árida. Em decorrência disto, o desenvolvimento de metodologias para análise da viabilidade de implantação e avaliação das tecnologias já implantadas é essencial para subsidiar órgãos gestores na tomada de novas decisões.

Neste contexto, procurou-se desenvolver uma metodologia para a avaliação das barragens subterrâneas já existentes que envolveram aplicações de recursos financeiros públicos. Embora a “avaliação” seja uma atividade muito antiga, só recentemente vem ganhando dimensões, envolvendo múltiplas aplicações, principalmente em decorrência das exigências da sociedade.

2. OBJETIVOS

O objetivo da pesquisa foi avaliar a implementação de barragens subterrâneas, através de metodologia específica, na região semi-árida brasileira, considerando-se os aspectos técnico, antropológico e de gestão do uso da água.

3. METODOLOGIA

- Para a avaliação dos aspectos técnicos, os sub - critérios adotados foram:
 - a) Análise do correto dimensionamento (capacidade de acumulação) e construção;
 - b) Avaliação da qualidade da água.

Para a análise da capacidade de acumulação, foi realizada uma instrumentação de campo a fim de acompanhar a variação do nível de água do lençol freático através de poços de observação.

Instalação - Foi instalado um tubo de 75 mm de diâmetro, formando em sua base um filtro com brita e com areia grossa, fazendo com que o fluxo de água ocorra somente pelos filtros. Os piezômetros construídos possuem em média 4,00 m de profundidade. Na Figura 1 pode-se observar o esquema construtivo.

Depois de concluídas as instalações dos piezômetros (poços de observação), foram iniciados os registros dos níveis freáticos em relação ao nível do terreno pelo período de um ano hidrológico.

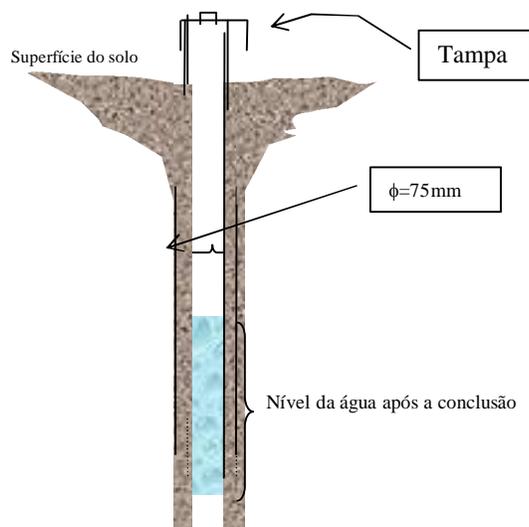


Figura 1 – Esquema construtivo do poço de observação utilizado.

Obtenção de dados de flutuação do nível d'água - As condições climáticas prevalentes na região semi-árida do nordeste do Brasil são caracterizadas pela nítida divisão entre os períodos secos e chuvosos, permitindo algumas simplificações quando se estuda o sistema. Os processos de infiltração e recarga, por exemplo, ficam limitados preponderantemente ao período chuvoso, enquanto que a restituição à superfície, pelo aquífero aluvial, é interrompida pouco depois do início do período seco. Isso leva a concluir que durante a maior parte do período de estiagem ocorre exclusivamente um esvaziamento do aquífero, através do escoamento subterrâneo, evaporação e retiradas.

Os dados de flutuação do nível d'água foram obtidos a partir de leituras efetuadas nos piezômetros instalados.

Na análise da correta construção das barragens subterrâneas, verificou-se que a maioria das barragens subterrâneas do estado de Pernambuco construídas, seguiram o modelo desenvolvido no início da década de 80 pelos pesquisadores Waldir D. Costa e Pedro G. de Melo. Assim, para esta, observou-se os pré requisitos indicados no modelo tais como: a presença de um poço amazonas a montante da barragem; uma trincheira forrada com lona plástica (material impermeável) na construção do septo da barragem; presença de um enrocamento de rochas a jusante da barragem; a existência de uma área de drenagem para a recarga maior que 2 km; se o material de construção do poço amazonas, a montante da barragem, foi de tijolos furados e prensados; se o poço amazonas construído acumula água suficiente que permita o abastecimento da população do entorno; se a escavação foi suficiente até alcançar o substrato cristalino, fazendo a total impermeabilização da barragem.

Para a avaliação da qualidade das águas foram realizadas coletas de amostras de água de 16 poços amazonas localizados a montante das barragens subterrâneas para análise em laboratório. De posse dos resultados, foi realizada uma avaliação da qualidade da água, sendo estabelecidos alguns pontos de maior interesse por apresentarem características diferentes. As coletas de água foram realizadas pelo período de um ano hidrológico, em intervalos de aproximadamente 30 dias.

As amostras destinadas às análises físico-químicas foram coletadas em garrafas de polietileno, com um volume de 5 litros, enquanto que as destinadas à análise bacteriológica foram coletadas em frasco de vidro neutro com capacidade de 250 ml, tomando-se os devidos cuidados com as técnicas de coleta e estocagem. Após as coletas, as águas foram encaminhadas a um laboratório para análise (mantidas resfriadas a 4° C até o momento da análise). Os resultados foram armazenados em um banco de dados e submetidos à análise de consistência.

Em relação após métodos para obtenção de parâmetros, com exceção dos dados de pH, Condutividade Elétrica e Temperatura, que foram obtidos no campo, todos os demais parâmetros foram determinados no laboratório de Análise do Grupo de Saneamento Ambiental da UFPE, utilizando os métodos descritos no STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER (1992) para realização das análises, especificados na Tabela 1.

Tabela 1 - Métodos utilizados na obtenção dos parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos no laboratório de Análise do Grupo de Saneamento Ambiental da UFPE.

MÉTODO	PARÂMETRO
Com auxílio de turbidímetro	Turbidez (ftu)
Ótico Comparativo	Cor (uH)
Titulação Potenciométrica	Alcalinidade total, Carbonato e Cloretos
EDTA (Titulação)	Dureza e Cálcio
Fotômetro de Chamas	Sódio e Potássio
Fotômetro Merck	Ferro Total e Manganês
Método de Ácido Cromatográfico	Nitrato
Kit de Nitrito	Nitrito
Turbidímetro	Sulfato
Diferenciação de Cálcio e Dureza	Magnésio
Condutivímetro	Condutividade Elétrica
Kit de amônia	Amônia
Phmetro	pH
Titulação	Cloreto
Turbidímetro	Sulfato
Tubos Múltiplos e Membrana Filtrante	Coliforme total
Técnica dos Tubos Múltiplos	Coliforme fecal

Ftu = unidade nefelométrica de turbidez

Foram utilizados critérios da qualidade de água para potabilidade, irrigação e dessedentação.

Para potabilidade: As águas são geralmente consideradas potáveis quando podem ser consumidas pelo homem sem ocasionar prejuízos à saúde, apresentando um aspecto límpido e transparente, sem cheiro ou gosto objetável. Os valores de referência variam em cada região. Entretanto, há uma tendência mundial para a padronização baseada nas normas da OMS (Organização Mundial de Saúde). A Tabela 2 mostra os padrões de potabilidade de alguns parâmetros vigentes no Brasil, EUA, Canadá e Alemanha.

Tabela 2 - Padrões de potabilidade.

	Parâmetro	Unidade	Fonte de referência					
			1	2	3	4	5	6
	Cor	Pt/L	15	20	5	15	15	-
	Turbidez	UNT	5	5	1	5	1-5	-
	pH	-	6.5-8.5	-	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-8.5	6.5-9.5
	Fluoretos	mg/l F	1.5	0.6-1.7	0.6-1.7	1.5	4.0	1.5
	Nitratos	mg/l N	10	10	10	10	10	50
	Nitritos	mg/l N	-	-	-	1.0	-	0.1
I	Cloretos	mg/ Cl	250	600	250	250	250	-
	Dureza Total	mg/l	500	-	500	-	-	-
	Ferro Total	mg/l Fe	0.3	1.0	0.3	0.05	0.05	0.05
	Manganês	mg/l Mg	0,1	0,5	0,1	0,05	0,05	0,05
	Sódio	mg/l Na	200	-	-	-	-	-
	STD	mg/L	1.000	1.000	1.000	500	500	-
II	Col. Totais	NMP em 100 ml	0	-	0	10	-	-
	Colif. Fecais	NMP em 100 ml	0	-	0	0	-	-
NOTAS:								
I - Parâmetros físicos e organolépticos					1- OMS (recomendado)			
II-Parâmetros químicos que afetam a qualidade organoléptica					2- Dec. Fed. nº 79637 de 09/03/77			
III -Parâmetros microbiológicos					3- Port. 36 do Min. Da Saúde de 19/01/90			
					4- Canadá			
					5- EUA			
					6- Alemanha			

Fonte: Adaptada de CETESB, 1990, *in* Feitosa *et al*, 1997.

Para Irrigação - Apesar dos padrões da água para uso na irrigação serem mais simples do que para abastecimento doméstico, sua utilização leva em conta, além da composição físico-química da água, também as características da espécie vegetal (tolerância à salinidade, seu ciclo de vida, etc) e do solo (permeabilidade, porosidade, textura, composição mineral, etc).

O critério mais utilizável para classificar as águas para irrigação é o estabelecido pelo USSSL (United States Salinity Laboratory). Esta classificação é baseada na RAS (razão de adsorção de

sódio), também conhecida por SAR (do inglês *sodium adsorption ratio*), e na condutividade elétrica (Figura 2), parâmetro muito importante para avaliar o índice de salinidade da água.

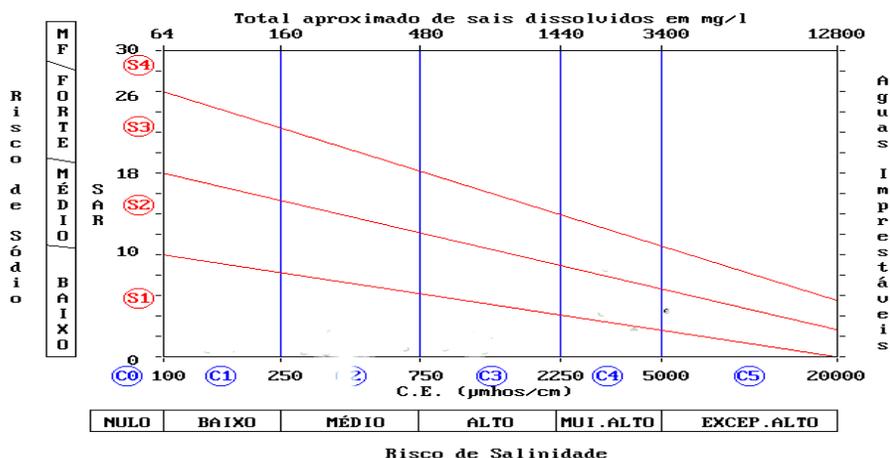


Figura 2 - Gráfico do USSL para classificação da água em irrigação.

FONTE: (SECTMA, 1998).

Conforme BERNARDO (1978), foi utilizada a classificação semelhante à proposta pela USSL, correspondendo às seguintes condições:

As classes de irrigação variam desde C_1-S_1 até C_5-S_4 , sendo as variáveis C (indicativa da salinidade, expressa pela condutividade elétrica) e S (indicativa da sodicidade expressa pelo RAS) correspondentes às seguintes condições:

✘ C_1 - Condutividade Elétrica compreendida entre 100 e 250 $\mu\text{S/cm}$, a 25 °C e sólidos dissolvidos entre 64 e 160 mg/l . Por serem águas de baixa salinidade, podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, em quase todos os solos, com baixo risco de incidentes quanto à salinização do solo, salvo se a sua permeabilidade for extremamente baixa. Desta forma, a classe C_1 indica baixo risco de salinização.

✘ C_2 - Condutividade Elétrica compreendida entre 250 e 750 $\mu\text{S/cm}$, a 25 °C e sólidos dissolvidos entre 160 a 480 mg/l . Por serem águas de salinidade média, podem ser utilizadas com precaução, preferencialmente em solos siltico-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ser cultivados, na maioria dos casos, sem perigo. Portanto, é considerado médio o risco à salinização.

✘ C_3 - Condutividade Elétrica entre 750 e 2250 $\mu\text{S/cm}$, a 25 °C, e sólidos dissolvidos entre 480 e 1440 mg/l . Como são águas de elevada salinidade, somente podem ser utilizadas em solos bem drenados e apenas com culturas de alta tolerância salina. Portanto, o risco de salinização é considerado alto.

✘ **C₄** – Condutividade Elétrica entre 2.250 e 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a 25 °C e sólidos dissolvidos entre 1.440 e 3.200 mg/l. Como são águas de salinidade muito alta, em geral não servem para irrigação, todavia podem ser excepcionalmente utilizadas em solos arenosos permeáveis, bem cuidados e abundantemente irrigados. Apenas as culturas de altíssima tolerância salina podem ser irrigadas. Esta classe indica como muito alto o risco à salinização.

✘ **C₅** – Condutividade Elétrica entre 5.000 e 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a 25 °C e sólidos dissolvidos entre 3.200 e 12.800 mg/l. São águas de salinidade extremamente alta, utilizável apenas em solos excessivamente permeáveis e muitos bem cuidados, sobretudo aqueles com condutividade acima de 10.00 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Novamente é considerado muito alto o risco à salinização.

✘ **S₁** - águas fracamente sódicas, podendo ser utilizadas para quase todos os solos com baixo risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca. Presta-se ao cultivo de quase todas as culturas;

✘ **S₂** - águas medianamente sódicas: apresentam perigo de sódio para os solos de textura fina e elevada capacidade de troca de cátions. Podem ser utilizadas para solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica e com boa permeabilidade;

✘ **S₃** - águas altamente sódicas. Há perigo de formação de teores nocivos de sódio na maioria dos solos, salvo nos solos gipsíferos. Exigem tratamento especial do solo (boa drenagem, lixiviação e presença de matéria orgânica) e podem ser utilizados em culturas com alta tolerância ao sódio;

✘ **S₄** - águas extremamente sódicas, geralmente imprestáveis para a irrigação, salvo se a salinidade global for fraca ou pelo menos média. Podem ser utilizadas em solos altamente drenáveis, ricos em carbonatos.

Assim, as águas para irrigação, em solos não permeáveis, deverão ter um padrão de qualidade, em relação à salinização, nunca superiores à classe C2S2 (Condutividade Elétrica, CE < 750 mhos/cm, e relação de Adsorção de Sódio, SAR < 2,05).

Para dessedentação de animais - Para consumo animal não existem padrões de qualidade da água muito rígidos, adotados universalmente, devido à diversidade das espécies de animais, variedade de raças, tamanho, sexo, além da influência exercida pelos diferentes climas regionais.

Porém, os limites adotados pela literatura para tolerância a sais, foram apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Limites médios de tolerância a sais em relação a STD (Sólidos Totais Dissolvidos).

Animal	STD (mg/l)
Aves	2.860
Porcos	4.220
Cavalos	6.435
Gado (de leite)	7.180
Gado (de corte)	10.000
Carneiros	12.900

Fonte: LARAQUE (1991).

Tabela 4 – Classificação das águas para consumo animal (LOGAN, 1965).

Gado	
Água	STD (mg/l)
Boa qualidade	< 2.500
Qualidade satisfatória	2.500 a 3.500
Baixa qualidade	3.501 a 4.500
Qualidade Insatisfatória	> 4.500

- Para a avaliação dos aspectos antropológicos, os sub - critérios utilizados foram:

Análise da aceitabilidade da alternativa onde os indicadores devem ser monitorados com o passar dos anos.

Análise das transformações ocorridas (“satisfação”) onde foram realizadas pesquisas em fontes primárias nas localidades beneficiadas e entrevistas. Os principais aspectos enfocados foram:

- Os tipos de relações sociais propiciados pela ação: mudança na convivência familiar e comunitária (maior disponibilidade de tempo para execução de outras atividades), entre outras;
- Os padrões de higiene (melhoria nas condições);
- A melhora na renda das famílias, liberadas das tarefas de buscar água em pontos distantes;
- As percepções e atitudes em relação à água e aos seus usos (melhoria nas condições de saúde);
- As percepções e usos das tecnologias implantadas (se são seguidas as orientações quanto ao uso); e

- A participação da população na concepção, implementação e gestão de políticas públicas, além da apropriação da tecnologia pela população.

Na observação direta, foram realizados levantamentos de informações por meio de conversas informais (observação minuciosa de eventos e de comportamentos). Nesta, assume destaque o “entendimento” do que seja adequado ou inadequado em termos dos aspectos da avaliação, pois assuntos como maior ou menor consumo de água depende fortemente da visão que os usuários têm sobre escassez, além do custo e da classificação que se faz dos tipos de água e seus usos.

O mesmo se aplica às avaliações da participação da população no planejamento e gestão das ações e a avaliação da “satisfação” da tecnologia pela população.

- Na realização de entrevistas individuais adotou-se um roteiro temático aberto, onde foram incorporados temas como: opiniões sobre a tecnologia em suas diferentes fases (manutenção e atendimento), grau de satisfação, respostas às expectativas, acesso às informações, critérios de alocação de recursos e as mudanças ocorridas nas rotinas da vida.

4. RESULTADOS

- **Avaliação Técnica**

Na análise da capacidade de acumulação, foram utilizados os dados coletados por COSTA (2002) que verificou a capacidade das barragens subterrâneas em suprir as demandas de água durante o período seco.

A evolução dos níveis freáticos foi registrada (COSTA, 2002) em coletas de campo em intervalos mensais e representada num gráfico (Figura 3). A seqüência dos poços no gráfico indica a localização dos respectivos poços na área de estudo na direção montante para jusante. Pode-se observar à primeira vista o declive quase linear da variação de carga hidráulica dos poços piezométricos e amazonas durante o período de estiagem e uma subida brusca já no início das chuvas. Nos meses de janeiro e fevereiro, o poço piezométrico localizado a jusante de CI secou devido à estiagem anual, enquanto no piezômetro, instalado 20 metros a montante, registrou-se nível freático ainda não seco. Este fenômeno não é claramente visível nesta figura.

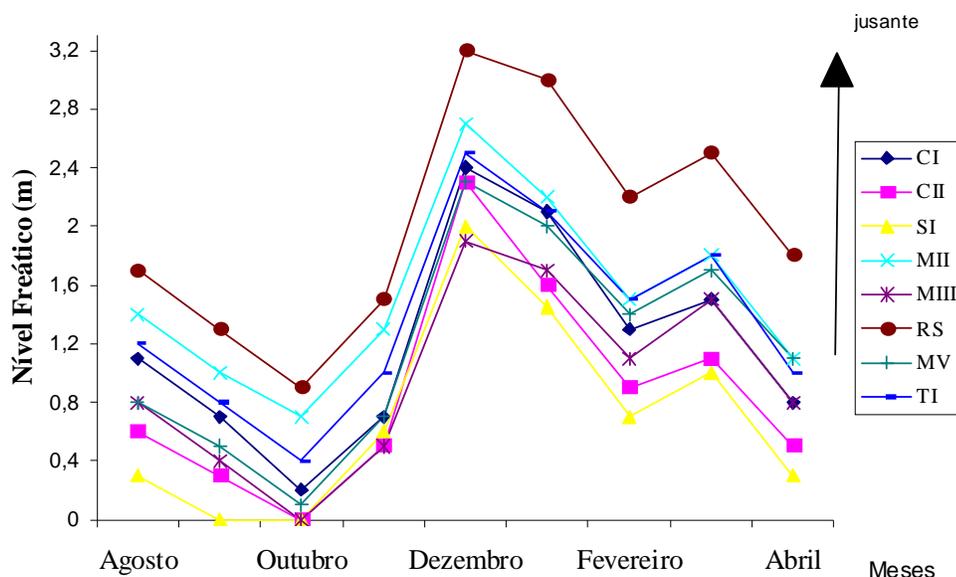


Figura 3 - Gráfico da evolução do nível freático no tempo em barragens subterrâneas.

Fonte: COSTA, 2002.

Assim, tomando-se como referência a medição dos níveis dos piezômetros, calculou-se um volume aproximado do aluvião saturado para as barragens, cujos valores estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Variação das reservas de água subterrânea.

CI	Ago	Dez	Fev	Abril
Profundidade (m)	1,1	2,4	1,3	0,8
Extensão do eixo (m)	36	36	36	36
Alcance a montante (m)	1.800	1.800	1.800	1.800
<i>TOTAL (m³)</i>	6.992	15.256	8.263	5.085
CII	Ago	Dez	Fev	Abr
Profundidade (m)	0,6	2,3	0,9	0,5
Extensão do eixo (m)	42	42	42	42
Alcance a montante (m)	1.300	1.300	1.300	1.300
<i>TOTAL (m³)</i>	3.213	12.319	4.820	2.678
SI	Ago	Dez	Fev	Abr1
Profundidade (m)	0,3	2	0,7	0,3
Extensão do eixo (m)	52	52	52	52
Alcance a montante (m)	1.800	1.800	1.800	1.800
<i>TOTAL (m³)</i>	2.754	18.364	6.427	2.754
MII	Ago	Dez/00	Fev	Abr

Profundidade (m)	1,4	2,7	1,5	1,1
Extensão do eixo (m)	55	55	55	55
Alcance a montante (m)	1.100	1.100	1.100	1.100
<i>TOTAL (m³)</i>	8.309	16.024	8.902	6.528
MIII	Ago	Dez	Fev	Abr
Profundidade (m)	0,8	1,9	1,1	0,8
Extensão do eixo (m)	76	76	76	76
Alcance a montante (m)	1.100	1.100	1.100	1.100
<i>TOTAL (m³)</i>	6.560	15.582	9.021	6.560
RS	Ago	Dez	Fev	Abr
Profundidade (m)	1,7	3,2	2,2	1,8
Extensão do eixo (m)	92	92	92	92
Alcance a montante (m)	1100	1100	1100	1100
<i>TOTAL (m³)</i>	16.877	31.768	21.840	17.869
M5	Ago	Dez	Fev	Abr
Profundidade (m)	0,8	2,3	1,4	1,1
Extensão do eixo (m)	52	52	52	52
Alcance a montante (m)	1.200	1.200	1.200	1.200
<i>TOTAL (m³)</i>	4.897	14.079	8.570	6.733
T1	Ago	Dez	Fev	Abr
Profundidade (m)	1,2	2,5	1,5	1
Extensão do eixo (m)	110	110	110	110
Alcance a montante (m)	1.700	1.700	1.700	1.700
<i>TOTAL (m³)</i>	22.013	45.861	27.517	18.344
<i>TOTAL GERAL (m³)</i> <i>(aproximado)</i>	71.618	169.256	95.363	66.555

Fonte: COSTA, 2002.

Para a análise e aplicação da metodologia de construção verificou-se que quando as barragens subterrâneas construídas seguiam a metodologia construtiva, atingiam os objetivos. As barragens que estavam vazias apresentaram problemas como: construção feita nas cabeceiras do riacho; área de infiltração situada em numa mancha de solo do tipo litólico, com textura média e afloramentos de rocha, o que representa baixa capacidade de infiltração; leito do riacho no local bastante estreito; presença de plantas indicadoras de salinidade do solo no próprio aluvião; a lona foi colocada suspensa em relação ao septo impermeável pelo motivo do aluvião encontrar-se saturado, tornando-a assim uma barragem submersa suspensa, técnica esta defendida por alguns pesquisadores, mas que resultou no total escoamento da água subterrânea; a total presença de solo do tipo litólico, que apresenta baixa capacidade de infiltração;

Para a verificação da qualidade da água, COSTA (2002) verificou a concentrações de sais (Figura 4) a níveis bem acima dos padrões permitidos ou recomendados pelos diversos órgãos responsáveis, como a Organização Mundial de Saúde (OMS).

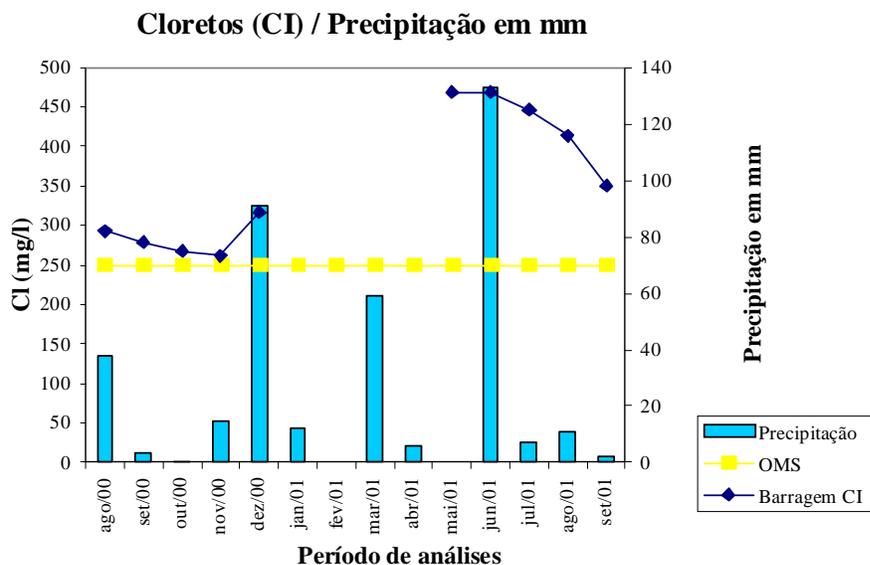


Figura 4 – Precipitação (mm) na área em estudo do distrito de Mutuca - PE, valor estabelecido como padrão pela OMS para cloretos e valores observados de cloreto na Barragem Cafundó I, respectivamente.

Fonte: (COSTA, 2002).

COSTA (2002) observou que de agosto a dezembro a concentração de cloretos decresceu suavemente. Nos meses de maio e junho, normalmente sem ocorrência de precipitações na área, teve-se um incremento no teor de cloretos, que voltou a decair nos meses subseqüentes, verificando-se a sensibilidade da concentração de cloretos à ocorrência de precipitação.

Na Tabela 6 são apresentadas análises de água realizadas em 2006, onde se pode verificar a ocorrência de águas com alto conteúdo de sal e alto risco de salinização do solo.

Tabela 6 – Resultado das análises de água realizadas no ano de 2006 na Barragem CI do distrito de Mutuca – PE.

	Data 08/11/06	Data 08/11/2006
Parâmetros	Resultados (poço1)	Resultados (poço 2)
Condutividade Elétrica	2,720 (dS/m a 25°C)	1,938 (dS/m a 25°C)
pH	7,4	7,1
Amônia em NH ₃	ND mg/L	ND mg/L
Nitrato em N	0,09 mg/L	ND mg/L
Sólidos Totais Dissolvidos	1,508 mg/L	1,147 mg/L
Sólidos Totais em Suspensão	<1 mg/L	<1 mg/L
Cálcio (+)	2,15 mmol/L	4,30 mmol/L
Magnésio (+)	8,20 mmol/L	4,61 mmol/L
Sódio (+)	15,01 mmol/L	10,00 mmol/L
Potássio (+)	0,30 mmol/L	0,30 mmol/L
Cloreto (-)	16,92 mmol/L	13,11 mmol/L
Sulfato (-)	1,77 mmol/L	1,45 mmol/L
Carbonato (-)	0,01 mmol/L	0,00 mmol/L
Bicarbonato (-)	6,24 mmol/L	4,40 mmol/L
Dureza Total em CaCO ₃	518,0 mg/L	446,2 mg/L
Alcalinidade de Carbonato em CaCO ₃	0,0 mg/L	0,0 mg/L
Alcalinidade de Bicarbonato em CaCO ₃	312,3 mg/L	220,2 mg/L
Alcalinidade Total em CaCO ₃	312,3 mg/L	220,2 mg/L
Ferro Total	0,06 mg/L	0,06 mg/L
Fosfato em P	0,66 mg/L	1,09 mg/L
Manganês	0,21 mg/L	0,08 mg/L
RAS (Relação de Adsorção de Sódio)	6,60	4,74
CRS (Carbonato de Sódio Residual)	Negativo	Negativo
Classe	C ₄ S ₂	C ₃ S ₁

Avaliação Antropológica: Analisando-se os sub-critérios de análise da aceitabilidade das transformações ocorridas, verificou-se que, após a implantação das barragens subterrâneas, houve um aumento da retenção do volume de água ao longo do aluvião, elevando o nível d'água nos poços localizados a montante do barramento, permitindo aos agricultores a retomada do plantio com culturas irrigadas além do uso doméstico, seja através da retirada d'água no próprio poço ou por bombeamento até uma caixa de água comunitária, proporcionando à população um maior conforto e higiene.

A melhoria na qualidade de vida da população deu-se principalmente devido à construção dos poços amazonas nas barragens, em decorrência da tradição do plantio na localidade através da cultura irrigada, onde as pessoas já tinham nas propriedades rurais uma infra-estrutura mínima (bombas, eletricidade, etc.), o que facilitou o aproveitamento das barragens subterrâneas, inclusive na retirada da água para os usos domésticos e a dessedentação de animais.

Assim, após a implantação das barragens foram evidentes os ganhos, conforme alguns exemplos relacionados a seguir.

- Barragem Fundão II (FII).

Antes da construção da barragem o proprietário das terras tinha como única fonte de renda a aposentadoria, não tendo em sua propriedade nem um poço amazonas.

Após a construção da barragem, o proprietário investiu na criação de animais como, por exemplo: 20 cabras, 05 cabeças de gado, 03 jumentos, galinhas, etc. (em 2001). Segundo ele, a utilização do poço da barragem não era maior devido à demora na recarga. No ano de 2006, existiam neste local mais de 50 cabras e 08 cabeças de gado, além do aumento do número de galinhas.

- Barragem Cafundó I (CI).

Antes da construção da barragem plantava-se tomate para a fábrica Peixe - Pesqueira, porém com o fechamento e as sucessivas secas, as famílias locais passaram a viver da venda da renascença (confecção manual de roupas, técnica que reúne habilidade e rara beleza) e da aposentadoria.

Após a construção da barragem, o proprietário da terra começou a plantar tomate irrigado, porém em pequena quantidade, já que o poço construído não permitia uma boa vazão. Com a intervenção realizada na localidade pelo projeto de pesquisa em 2001, foi construído mais um poço amazonas, o que possibilitou ao proprietário colher no próprio ano, através da irrigação: 5 toneladas de beterraba; 2,5 toneladas de cenoura; 300 caixas de tomate; além da criação de 23 cabeças de gado e 2 jumentos. No ano de 2006, nessa mesma propriedade, foram colhidas 4 toneladas de cenoura e 520 caixas de tomate, além de ainda existir a criação de 15 cabeças de gado e 2 jumentos.

- Barragem Cafundó II (CII).

Antes: Devido às sucessivas secas, o proprietário de 60 hectares trabalhava como diarista em Brejo da Madre de Deus, mantendo em suas terras apenas algumas culturas de subsistência.

Após: Com o aumento da recarga e captação assegurada pelo poço amazonas construído em 2001, o mesmo começou a plantar pimentão, alface, coentro (ainda em pequena quantidade), além da beterraba, tendo colhido nesse mesmo ano uma produção de 8,5 toneladas de beterraba. No ano de 2006 foi colhida uma produção de 7 toneladas de beterraba, além do plantio de uma cultura de subsistência.

- Barragem Cafundó IV (CIV).

Antes: Na propriedade havia uma pequena criação de 15 cabeças de gado. Estas, em época de seca, eram obrigadas a deslocarem-se por quilômetros atrás de um barreiro para beberem água.

Após: Em 2001 a criação aumentou para 70 cabeças de gado, além das 20 cabras, que passaram a utilizar a água da barragem através de um novo poço amazonas. Existindo ainda o

bombeamento da água desse poço para uma caixa d'água, beneficiando 14 famílias. Em 2006, nessa mesma propriedade, a criação de gado passou para 110 cabeças.

5. CONCLUSÕES

Avaliação antropológica

- Os indicadores obtidos mostram que as barragens subterrâneas construídas podem proporcionar projetos de pequena irrigação, gerando renda para o trabalhador e ao dono da terra. Foram evidentes os ganhos na produção agrícola e pecuária, porém o manejo adequado torna-se essencial por conta dos riscos de salinização.

Avaliação técnica

- A barragem subterrânea é uma alternativa capaz de suprir as necessidades de água no meio rural, principalmente para produção agrícola, possibilitando a geração de renda durante todo o ano; há, no entanto, a necessidade de um controle efetivo do uso da água, tanto no que se refere à quantidade quanto à qualidade;

- A água só deverá ser utilizada para consumo humano após filtragem, de preferência após esterilização mediante fervura. Isso se deve à circulação de animais que ocorre de forma habitual na região das barragens;

- Os erros de locação e construção comprometem a capacidade das barragens subterrâneas de reter água. Assim, é necessário rigor técnico, com profissionais experientes e sondagens, para escolher os locais e execução da obra. A identificação antecipada do solo é fundamental, para reduzir o risco de salinização;

- A técnica pode ser perfeitamente estendida a outras regiões do Nordeste brasileiro, ou em outras regiões semi-áridas em condições equivalentes;

- Realizando cálculos dos níveis freáticos para outras datas, observa-se que as reservas de água subterrânea voltaram a crescer durante a quadra chuvosa da região, o que permite um manejo de irrigação adequado à agricultura familiar.

- A implantação de barragens subterrâneas continua no patamar de experiências isoladas. É importante ressaltar que existem fragilidades, como riscos de salinização por deficiências construtivas e de manejo, e mesmo de destruição dos barramentos e erosão nas áreas a montante do barramento, em ocasião de cheias.

Durante o ano de 2008 e no período chuvoso do ano de 2009, pela ocorrência de escoamentos fortemente torrenciais no riacho Mimoso, as barragens subterrâneas analisadas sofreram vossorocas intensas (Figura 5), deixando a lona descoberta (Figura 6) e destruindo os pequenos barramentos superficiais (COSTA, 2009). Isso evidencia, sob o aspecto técnico, a necessidade de estruturas mais

robustas; sob a questão antropológica, que é preciso melhor conscientização do seu valor, para que os proprietários façam a manutenção e melhorias.



Figura 5 - Voçoroca causada pela força das águas na Barragem Cafundó I no distrito de Mutuca – PE

FONTE: (COSTA, 2009).

Foto: Autor.



Figura 6 – Erosão verificada na Barragem Cafundó I no distrito de Mutuca - PE.

Foto: Autor.

Fonte: (COSTA, 2009).

Face à alta relação benefício-custo, contudo, tais limitações não devem impedir a implantação de tais empreendimentos, apenas reforçar os cuidados de manejo e os aspectos construtivos para

XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços

minimizar os impactos potenciais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, M. R.; Avaliação de Reservatórios Constituídos por Barragens Subterrâneas. 2002. 189f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

COSTA, M. R.; Avaliação das Estratégias de Convivência com o Semi-árido. 2009. 220f. Tese de Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, Recife.