



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE BARRAGENS
SUBTERRÂNEAS NOS MUNICÍPIOS DE POÇO DANTAS
E TRIUNFO, SERTÃO PARAIBANO**

Relatório de Estágio

Fernando Antônio Melo da Costa

Orientadora:

Prof.^a Dra. Soahd Arruda Rached Farias.

Campina Grande, Paraíba.

Julho/2010

Fernando Antônio Melo da Costa

**ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE BARRAGENS
SUBTERRÂNEAS NOS MUNICÍPIOS DE POÇO DANTAS
E TRIUNFO, SERTÃO PARAIBANO**

Relatório de Estágio

Orientadora:

Prof^a. Dra. Soahd Arruda Rached Farias

Campina Grande, Paraíba.

Julho/2010



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB

**ASPECTOS CONSTRUTIVOS DE BARRAGENS SUBTERRÂNEAS NOS
MUNICÍPIOS DE POÇO DANTAS E TRIUNFO, SERTÃO PARAIBANO**

FERNANDO ANTÔNIO MELO DA COSTA

**Este relatório de estágio foi submetido como parte integrante dos requisitos
necessários à obtenção do título de Engenheiro Agrícola, outorgado pela
Universidade Federal de Campina Grande.**

Julgado em, 14 / 07 / 2010
Nota: 9,0 (NOVE, ZERO)

Fernando Antônio Melo da Costa.

Fernando Antônio Melo da Costa.

BANCA EXAMINADORA:

Soahd Arruda Rached Faria

Profª. Soahd Arruda Rached Faria, Dra. – Orientadora

Edvaldo Eloy Dantas Junior.

Edvaldo Eloy Dantas Junior. Doutorando em Engenharia Agrícola

Baraculy

Prof. Dr. Jose Geraldo de Vasconcelos Baraculy

Agradecimento

Agradeço a Deus pela força em toda minha caminhada e por ter me concedido mais esta conquista.

A minha mãe Maria das Neves Melo da Costa, que sempre nos incentivou ao estudo.

Ao meu pai Benjamin de Assis da Costa, que também sempre nos incentivou aos estudos e nos deu a oportunidade de estudar.

Aos meus irmãos Rafael Melo da Costa e a Diogo Luiz Melo da Costa, que sempre nas horas de dificuldades estavam sempre do meu lado.

A minha namorada Pâmela Bento Cipriano que me contribuiu muito na minha caminhada acadêmica e pelo companheirismo nas horas de dificuldades.

Aos meus professores e amigos que contribuíram com dedicação, carinho e respeito para minha formação. E pelo apoio dado nos momentos decisivos.

A minha orientadora, Soahd Arruda Rached Farias, pela oportunidade de participar deste projeto e pela orientação durante a realização do estágio, que sempre esteve disposta a escutar e ajudar nos momentos que precisei.

Aos senhores Jose Clarindo, Antonio Paulo, Willams, Severino, Cartegiano, alunos que participaram do curso e nos forneceram a sua mão de obra.

Ao CEDAC-Centro de Desenvolvimento, Difusão e Apoio Comunitário obtive apoio junto ao BNB - Banco do Nordeste Brasileiro SA financiador do projeto proporcionando a oportunidade de novos alunos aprenderem e conviverem com técnicas de oferecidas no curso de captação de água, muito importante para os moradores destas localidades que tanto sofrem com a escassez deste bem tão importante para a sobrevivência humana, com esta oportunidade pude vivenciar a o quanto uma obra desta é tão importante para a vida destas pessoas.

A Universidade Federal de Campina Grande, núcleo avançado de pesquisa e extensão da bacia do Rio do Peixe, que me proporcionou a oportunidade de participar destes cursos de capacitação, eu veio a contribuir com o meu aprendizado acadêmico.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. Objetivo geral.....	11
1.2. Objetivos Específicos	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1. Aspectos climáticos do Semiárido brasileiro	12
2.1.1. Climatologia do sertão paraibano	12
2.2. Obras de captação de água de chuvas.....	14
2.2.1. Cisternas de placas.....	15
2.2.2. Barragens subterrâneas	16
2.2.2.1. Aspecto Histórico	18
2.2.2.2. Aspectos construtivos	19
2.2.2.2.1 – Orçamento da barragem subterrânea mais poço amazonas	21
2.3. Qualidade de água	22
2.3.1. Irrigação	23
2.3.2. Dessedentação animal	24
2.3.3. Consumo humano	25
2.4. Salinização e sodicidade dos solos.....	26
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 Localizações do projeto	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1 Construção de barragens subterrâneas e poços amazonas no município de Poço Dantas.....	32
4.2 Construção de barragens subterrâneas e poços amazonas no município de Triunfo	41
5. CONCLUSÃO	47
6. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	48

Lista de Figuras

Figura 1. Indicação da rede de drenagem de Poço Dantas, e nas duas setas os setores de riacho que foram construídos as barragens subterrâneas do curso no município.....	28
Figura 2. Detalhe da Rede de drenagem do município de Triunfo, com setas indicadoras dos locais onde foram realizados as aulas práticas com barragem subterrâneas.....	28
Figura 3. Ilustração de como se comporta uma barragem subterrânea.....	31
Figura 4 - Área a ser construída a primeira barragem antes de ser limpa.....	33
Figura 5 - Máquina limpando o local onde vai ser escavação da barragem.....	33
Figura 6 - Máquina limpando o local da construção.....	33
Figura 7 - Inicia da escavação da barragem.....	33
Figura 8 - Mostra o início da escavação.....	34
Figura 9 - Mostra o discreto aparecimento de água identificando onde seria o leito do rio.	34
Figura 10 - O senhor Jose Clarindo limpando o fundo da barragem para uma melhor vedação.	34
Figura 11 - Colocação da lona com o auxílio de pedras.	35
Figura 12 - Colocação da lona.	35
Figura 13 - Perfil transversal da escavação da Barragem 1, no município de Poço Dantas-PB.....	36
Figura 14 - Limpeza para acomodação do 1º anel.....	37
Figura 15 - Amarração e colocação do 1º anel.....	37
Figura 16 - Descida do primeiro anel.....	37
Figura 17 - Descida do segundo anel.....	37
Figura 18 - Uso da lanca para acomodação dos anéis.....	37
Figura 19 - Colocação do ultimo anel.....	37
Figura 20 - Mostra pequeno barramento já existente na área.....	38
Figura 21 - Vista da área onde vai ser construída a barragem.....	38
Figura 22 - Perfil transversal da escavação da Barragem 2 no município de Poço Dantas-PB.....	38
Figura 23 - Perfil do corte e logo o surgimento de água.	39
Figura 24 - Grande quantidade de água dentro da Barragem.....	39
Figura 25 - Momento em que a barreira desmorona.	40
Figura 26 - Grande parte da barreira que caiu.....	40
Figura 27 - Fechamento da barragem.	40
Figura 28 - Reconstrução da barragem colocando logo a lona.....	40
Figura 29 - Acomodação do 1º anel.....	41
Figura 30 - Panorâmica da área antes do total fechamento.....	41
Figura 31 - Limpeza da área barragem subterrânea.....	42
Figura 32 - Escavação da barragem subterrânea.....	42
Figura 33 - Vista a montante da barragem subterrânea.....	42
Figura 34 - Perfil transversal da escavação da Barragem 3 no município de triunfo - PB.....	43
Figura 35 - Colocação da lona na vala.	43
Figura 36 - Fechamento da barragem.	43
Figura 37 - Descida dos anéis.	44
Figura 38 - Vista da barragem próximo ao termino.	44

Figura 39 - Vista das serras a montante da barragem.....	44
Figura 40 -. Perfil transversal da escavação da Barragem 4 no município de Triunfo -PB.	45
Figura 41 - Locação da barragem.	45
Figura 42 – Escavação e Colocação da lona.	45
Figura 43 – Fechamento da barragem.	45
Figura 44 – Poço entupido.....	46
Figura 45 – Descida do primeiro anel.	46
Figura 46 – Poço pronto.	46

Lista de tabelas

Tabela 1. Precipitação média de alguns municípios do alto sertão da Paraíba.	13
Tabela 2. Quantitativos para construção de uma barragem subterrânea.....	21
Tabela 3. Quantitativos para construção do poço amazonas.....	22
Tabela 4. Guia de qualidade de água para dessedentação de gado e aves.....	25
Tabela 5. Padrão de aceitação de água para consumo humano, segundo artigo 16º da Portaria nº 518/04, do Ministério da Saúde.....	26

RESUMO

A Região Semiárida Brasileira além de possuir os menores índices pluviométricos do País, tem como agravante o regime de irregularidade com precipitações expressivas aglutinadas em poucos dias do ano, produzindo enxurradas instantâneas nos riachos e rios semiperenes, e isto se constitui num grande obstáculo na permanência do homem no meio rural, o qual depende de produção de sequeiro seja agrícola ou forragem, além do pasto para a pecuária. O presente relato de estágio foi acompanhar o processo de capacitação de produtores e técnicos numa visão de conhecer tais limitações e saber com consciência como adaptar técnicas adequadas para tal situação climática. As evaporações de espelho de água de pequenos reservatórios, solos rasos descobertos que permitem também perdas expressivas das poucas lamina que infiltram associado a quase nenhuma técnica de contenção de solo e água decorrente do escoamento superficial precisa de forma simples mais essencial ser absorvido no conhecimento do homem do campo, e como forma final de prática, ser ensinado vivenciando, o processo de construção de técnicas desta natureza, sendo objetivo do curso realizar o conjunto de técnicas de barragens subterrâneas, poço amazonas e obstáculo superficial (quando assim for necessário). Foram realizados 02 cursos no sertão paraibano, nas cidades de Poço Dantas e Trunfo, com a construção de 04 barragens subterrâneas (B1- 44,3 ; B2 – 43,0; B3- 20; B4-43,0 m) com poços amazonas revestidas com anel premoldado entre 3,5 m a 2,5 m localizados nos pontos mais profundos e com boa vertente de água. A capacitação atingiu 58 pessoas de diversas atividades e representações dos referidos municípios. A motivação dos alunos chamou atenção principalmente por ser atividade de campo e em dias muito quente, porém com a estrutura montada de apoio, se fez uma frequência adequada e até surpreendente considerando que ocorreu situações que as barragens B1 e B2 tiveram sua execução por dois dias no campo devido a pedras e excesso de água no lençol freático respectivamente. O trabalho foi desenvolvido de acordo com as recomendações previstas para este tipo de obra e as análises de solo e água dos locais apresentaram qualidade ótima para irrigação, consumo humano e dessedentação animal quanto ao teor de sais, com exceção da barragem B3 que obtivemos um solo ligeiramente salino e sódico.

1. INTRODUÇÃO

Uma característica do Semiárido brasileiro é a falta de regularidades e a escassez das chuvas e em anos de excepcionalidade é ainda pior, devido a alguns fenômenos naturais, como o El Niño. Sabe-se que 62 % do território Nordestino e parte de Minas Gerais é constituído pelo bioma caatinga, sendo habitado por aproximadamente 27 milhões de pessoas, o que representa 17% da população nacional, distribuídas em 1348 municípios brasileiros, sendo 1262 na região Nordeste (IBGE, 2000). Para que estas pessoas possam permanecer em seus locais de origem é necessário dar condições para que possam viver dignamente nestas regiões de tantas adversidades climáticas.

Em anos de boa pluviosidade as medias variam de 400 a 800 mm ano⁻¹ sendo que em alguns pontos essas mínimas de 400 mm ano⁻¹ ainda não são atingidas. O principal agravantes é a evaporação potencial, da região semiárida que pode chegar a taxas altíssimas, da ordem de 3000 mm ano⁻¹, observa-se que nesse clima as exigências hídricas é de três vezes mais água do que precipitação máxima nos locais de 800 mm ano⁻¹. Juntando todos estes fatores hídricos adversos e associando aos fatores relacionados a solos rasos e as grandes áreas com afloramentos rochosos, verifica-se que as águas tendem a escoar rapidamente não dando tempo suficiente à infiltração e percolação no solo, inferindo condições de recarga dos lençóis freáticos Cavalcante (2005).

Esses fatores limitantes e a necessidade que o homem do campo tem por água para sobreviver, inferem a busca por varias alternativas que vem sendo estudadas e propostas para amenizar e dar a possibilidade de produzir nesses locais.

As técnicas mais antigas de armazenamento de água são os açudes e os pequenos “açudecos” também conhecidos por “barreiros”. Salienta-se que a construção de um açude refletirá em custos elevados e uma grande evaporação, além de ocupar muito espaço dentro de uma propriedade, que na maioria das vezes são pequenas e ainda por ocupar a melhor parcela da terra da propriedade, que são as áreas de aluvião. Outra forma de armazenamento são as cisternas de placas que servem mais para o uso domestico, com 16.000 l capacidade de armazenamento.

Com o objetivo de não desperdiçar água e nem ocupar terras de boa qualidade é que surgem as técnicas de retenção de água no subsolo, conhecida como barragem subterrânea. A metodologia consiste na construção de um septo impermeável para armazenar a água no depósito aluvial, sendo totalmente construído abaixo da superfície do ter-

reno, este barramento é feito com uma lona impedindo o fluxo normal da água subterrânea e esta por sua vez fica armazenada no solo sem formar espelho d'água, ao contrário do que acontece nas barragens tradicionais, diminuindo assim a evaporação e com isso o agricultor poderá passar muito mais tempo produzindo, pois a terra fica molhada por muito tempo.

A necessidade de transferência de informações técnicas para as comunidades rurais é eminente, decorrente disto, a ONG CEDAC- Centro de Desenvolvimento, Difusão e Apoio Comunitário obteve apoio junto ao BNB- Banco do Nordeste Brasileiro SA e parceria com a UFCG, para realizar através do projeto "Aprender Fazendo: Técnicas de captação de água e contenção de solo", promovendo capacitação associando a teoria à execução na prática, quando foi realizado construções de barragens subterrâneas com poços amazonas juntamente com as comunidades agrícolas e técnicos dos municípios de Poço Dantas e Triunfo, no Sertão da Paraíba.

1.1. Objetivo geral

O presente trabalho propõe descrever a vivência durante a teoria dos cursos de capacitação de captação de água e contenção solo e aspectos construtivos das aulas práticas com as construções de barragens subterrâneas e poços amazonas para agricultores e técnicos de dois dos municípios de Poço Dantas e Triunfo, na Paraíba.

1.2. Objetivos Específicos

Acompanhamento de dois (02) cursos teóricos sobre técnicas de captação de água de chuva para comunidade rural e técnicos da área em dois municípios do sertão paraibano.

O acompanhamento de 04 (quatro) construções de barragens subterrâneas acompanhadas de poços amazonas.

Avaliação da qualidade das águas quanto a finalidade de irrigação, dessedentação animal e consumo humano.

Avaliação do solo retirado do perfil da vala, durante o processo de construção das barragens subterrâneas, quanto ao nível de salinidade e sodicidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos climáticos do Semiárido brasileiro

O Nordeste brasileiro, com uma disponibilidade hídrica anual de 700 bilhões de m³, pode ser considerado de expressiva disponibilidade hídrica; no entanto, somente 24 bilhões de m³ permanecem efetivamente disponíveis, o restante, 97 %, é consumido pelo fenômeno da evaporação que, em média, atinge 2000 mm anuais, e pelo escoamento superficial (REBOUÇAS & MARINHO 1972).

Fontes et al (2003) cita estudos de Molle (1989) sobre evaporação baseados em dados de 11 postos distribuídos no semiárido nordestino, com séries variando entre 8 e 25 anos, onde a evaporação média de tanques Classe A variou entre 2700 e 3300mm ano⁻¹ com valores mais elevados ocorrendo nos meses de outubro a dezembro e mínimos de abril a maio.

Com esta citação podemos comprovar que um dos maiores problemas do semiárido nordestino é sem dúvida a evaporação, onde o balanço hídrico (diferença entre o que precipita e o que é potencialmente evaporado) fica descompensado, pois é retirada mais água que as precipitações anuais oferecem.

2.1.1. Climatologia do sertão paraibano

Segundo a AESA (2010) Climatologicamente, as chuvas sobre o semiárido paraibano apresentam-se com melhor distribuição temporal e espacial a partir do mês de fevereiro, quando, próximo do final deste mês, em média, a Zona de Convergência Intertropical, principal sistema meteorológico gerador de chuvas nesse setor, passa a atuar com maior intensidade e frequência. Na Tabela 1 observa-se os valores da precipitação média de alguns municípios do alto sertão da Paraíba.

Tabela 1. Precipitação média de alguns municípios do alto sertão da Paraíba.

MUNICÍPIO / POSTO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
Triunfo/Barra do Juá	67.0	119.2	203.4	159.1	94.3	39.4	21.0	6.7	4.3	4.7	10.5	20.7	776.9
Uiraúna	90.2	122.6	181.0	200.6	99.0	35.3	9.5	4.3	0.7	5.7	3.7	18.8	820.6
Sousa	88.5	153.4	218.9	156.7	71.5	28.8	11.6	4.0	3.6	6.4	12.8	32.8	783.9
Sousa/São Gonçalo	96.0	176.0	247.2	175.6	68.8	34.5	15.8	5.6	4.5	11.6	18.5	41.1	914.4
Sousa/Sítio São Vicente	114.0	167.9	196.8	192.7	109.1	43.5	17.2	0.6	2.0	6.9	5.9	32.3	863.7
São João do Rio do Peixe/Antenor Navarro	111.7	171.8	277.1	192.9	90.8	37.9	16.2	7.0	4.9	9.3	20.6	37.5	976.3
São João do Rio do Peixe/Açude Pilões	96.9	139.9	233.3	171.2	75.7	35.3	17.8	4.7	3.8	8.5	12.1	31.3	819.8
Cajazeiras	101.4	168.4	252.0	169.1	67.2	27.8	13.0	4.1	6.1	11.1	17.2	41.1	880.6
Cajazeiras/Açude Engenheiro Ávidos	115.1	174.1	235.0	168.6	55.8	26.9	15.5	3.0	4.2	13.5	17.2	35.1	871.9

Fonte : AESA (2010)

Com relação aos totais médios acumulados durante o ano hidrológico, pode-se dividir o estado em duas áreas distintas por início do período chuvoso: no setor oeste do Estado, inicia-se em janeiro e com isso a recuperação hídrica dos corpos de água sobre essa região. Durante este período, os valores médios variam de 700,0 mm a 900,0 mm e são registrados respectivamente, sobre as Sub-Bacia do Rio Espinharas, Região do Médio Curso do Rio Piranhas, Bacias dos Rios Peixe e Piancó e Alto Curso do Rio Piranhas, a valores entre 450,0 mm e 700,0 mm setor central do Estado, nas unidades hídricas das Bacias do Rio Taperoá, Seridó, Região do Alto Curso do Rio Paraíba e da Bacia do Rio Jacu, AESA (2010).

O regime pluviométrico nessas áreas, é caracterizado por apresentar alta variabilidade espacial e temporal das chuvas com a presença de veranicos (falta de chuva por mais de dez dias consecutivos dentro do período chuvoso).

Durante o período compreendido entre os meses de abril e julho, a maior concentração de chuvas ocorre ao longo das regiões que compõem a faixa leste do estado da Paraíba.

Nesta região, pode-se caracterizar a recuperação do aporte das Unidades Hídricas a partir de março, onde os valores médios históricos do ano hidrológico variam de totais em torno 1800,0 mm na região litorânea a aproximadamente 600,0 mm. Estes valores distribuem-se sobre as Bacias dos Rios Abiaí, Miriri, Camaratuba, Gramame,

Mamanguape, Guajú, Região do Baixo Curso do Rio Paraíba, Bacia do Rio Curimataú e Região do Médio Curso do Rio Paraíba AESA (2010).

2.2. Obras de captação de água de chuvas

Segundo Cavalcante, et al (2005) nesse contexto, a busca de soluções para essas calamidades, remota ao século 19, quando em 1845 o Imperador D. Pedro II deu início as primeiras iniciativas locais de combate as secas implementadas pelo Estado. Com a criação em 1909 da Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS) e transformada depois no Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), teve início um programa de combate as secas, cujo objetivo principal foi à acumulação de águas através de construção de açudes e das obras de infra-estrutura com duração de 1909 a 1945 (GARRIDO, 1999). Contudo, o baixo desenvolvimento do semi-árido ainda é atribuído a escassez dos recursos hídricos.

Boff (2007) três projetos são notáveis: o da construção de um milhão de cisternas de bica que recolhem água da chuva dos telhados, conduzindo-a diretamente para o reservatório de 16.000 litros hermeticamente fechado; O outro é "uma terra e duas águas" (o "1+2"), que visa garantir a cada família uma área de terra suficiente para viver com decência, uma cisterna para abastecimento humano e outra para a produção; e por fim, o Atlas do Nordeste, proposta pela Agência Nacional de Águas para beneficiar 34 milhões de nordestinos do meio urbano, custando a metade da transposição (valor apontado pelo Rima para a transposição e de 7 bilhões). Esse projeto se opõe à transposição, qualificada como "a última obra da indústria da seca e a primeira do hidronegócio".

Não precisamos da transposição para matas a sede, pois existe muitas outra obras que podem ser feitas para dar suporte a esta vertente, como a construção de mais cisternas de placas, o aumento da capacidade de acumulação de alguns açudes, construções de barragens subterrâneas entre outra, mas a transposição seria de fundamental importância para o desenvolvimento da agricultura no estado, desde que esta fosse bem orientada para evita posteriores problemas de degradação do meio.

2.2.1. Cisternas de placas

Mendes (2010) as cisternas de placas foram inventadas aproximadamente há 35 anos por um pedreiro na cidade de Simão Dias - SE chamado Nel, que em São Paulo na construção de piscinas aprendeu a utilizar placas de cimento pré-moldadas. Ele voltou ao Nordeste e se valeu de sua experiência para criar um novo modelo de cisterna rural de forma cilíndrica, com placas pré-moldadas curvadas, a chamada cisterna de placas. A partir da invenção de Nel, o CCSP procurou treinar pedreiros pintadenses, os quais aprimoraram a técnica, diminuindo o custo e o tempo para a execução. Hoje gasta-se apenas 3 dias de trabalho, e em média R\$ 430,00, para a construção de uma cisterna de 15.000 litros.

Segundo J.Gnadlinger (2010) o modelo de cisterna de placas de cimento é encontrado em todo Nordeste e continua sendo construído com êxito. Estas cisternas foram usadas originalmente em comunidades de pequenos agricultores e hoje estão sendo construídas também por pequenos empreiteiros e prefeituras. A cisterna de placas de cimento fica enterrada no chão até mais ou menos dois terços da sua altura. Ela consiste em placas de concreto (mistura cimento: areia de 1: 4), com tamanho de 50 por 60 cm e com 3 cm de espessura, que estão curvadas de acordo com o raio projetado da parede da cisterna, dependendo da capacidade prevista. Há variantes onde, por exemplo, as placas de concreto são menores e mais grossas, e feitas de um traço de cimento mais magro. Estas placas são fabricadas no lugar mesmo em simples moldes de madeira. A parede da cisterna é levantada com essas placas finas, a partir do chão já cimentado.

Para Fernandes et al (2001) dentre todas as propostas técnicas para armazenamento domiciliar de água com fins de consumo humano, a cisterna de placas tem se afirmado como uma das mais eficientes propostas, fato que leva a Articulação do Semi - Árido (ASA) a adotar, majoritariamente, esta estrutura na implementação do Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC). No entanto, esta cisterna foi concebida, tecnicamente, na condição de ser parcialmente enterrada com cerca de $\frac{3}{4}$ da altura das paredes laterais abaixo do nível do terreno. Na prática, isso implica na exigência de escavação de 1,90 metros de profundidade, o que representa uma mão de obra considerável da família em muitas situações do semi-árido, onde a casa, ao lado da qual

a cisterna deva ser construída, estará localizada em solo bastante raso ou, até mesmo, sobre afloramentos rochosos.

Ainda para Fernandes et al (2001) na região Nordeste, entre os modelos existentes de cisternas para armazenamento de água de chuva captada no telhado, a tecnologia da cisterna de placas é, sem dúvida, a que mais tem se destacado e disseminado. Os motivos são óbvios: essa tecnologia representa um enorme avanço do ponto de vista da engenharia de construção, em relação aos modelos existentes na região; conseguiu-se o “milagre” de reunir nesse modelo de cisterna, aspectos determinantes para o seu sucesso, tais como, baixo custo, facilidade e velocidade de construção, segurança, durabilidade e beleza. Naturalmente, a cisterna de placas é o modelo que será adotado pela maioria das organizações no Programa Um Milhão de Cisternas.

2.2.2. Barragens subterrâneas

Durante algum tempo pesquisadores de universidades e de órgãos públicos procuram aperfeiçoar técnicas de retenção de água no semiárido nordestino, uma vez que a evaporação na região é maior do que sua precipitação média anual, uma das formas estudadas que deu mais resultado foi a captação e armazenamento de água em meio poroso, ou seja, os solos aluvionares, que por meio de um barramento subterrâneo seria a forma mais apropriada para não perder água por evaporação.

Citado por Yoshioka et al (2005) dentro do solo existem pequenos espaços vazios chamados de poros do solo, onde fica guardado o ar e a água que as raízes das plantas e outros organismos necessitam para sua hidratação (não secarem) e respiração (JARBAS et al., 2002). A porosidade do solo corresponde ao volume do solo não ocupado por partículas sólidas, incluindo todo o espaço poroso ocupado pelo ar e água. A porosidade total inclui a macroporosidade e a microporosidade (CURI et al., 1993).

Como a água armazenada nas barragens subterrâneas fica abaixo da superfície aproximadamente 0,5 m, (esta profundidade pode variar de acordo com a época do ano e quanto maior for a declividade maior será a profundidade) com isso a água fica menos vulnerável a evapotranspiração.

Segundo Costa (1987), Clóvis Lima, em 1985, proprietário e técnico agrícola em São Mamede (PB), dedicaram-se em buscar uma alternativa para armazenar água em suas fazendas. Após contato com o grupo da UFPE- Universidade Federal de Pernambuco, construiu uma barragem subterrânea, posteriormente mais três, com poço amazonas, estando hoje com cerca de 40 ha irrigados por micro-aspersão, exportando mangas. Os poços amazonas, com 2,0 m de raio, foram devidamente projetados para permitirem o bombeamento de $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ cada um, com um regime de bombeamento de 8 horas. dia^{-1} , durante 10 meses por ano.

Um estudo detalhado de um aquífero aluvial foi desenvolvido em Catolé do Rocha - PB (SANTOS, 1992), onde foi simulado um modelo unidimensional com barragens subterrâneas ao longo da área em estudo. Para esse autor, o modelo apresentava duas restrições básicas: a primeira era quanto à condição inicial para a aplicação com barragens subterrâneas que não era a mesma utilizada nas aplicações anteriores e no processo de calibração, e a segunda restrição do modelo era quanto a elevação do nível freático à superfície do terreno.

Em 1997, foi lançado o “Manual de Barragens Subterrâneas”, onde foram descritas as condições necessárias para uma correta locação e construção, assim como também foram fornecidos elementos sobre a capacidade de acumulação e os custos de construção (COSTA, 1997).

Baracuh et al (2007) a técnica de barragem subterrânea consiste em construir um septo no depósito aluvial, que este venha a impedir que a água nele acumulada continue a escoar durante o período de estiagem e assim ficando acumulada nos poros do solo, e esta por sua vez podendo servi de subirrigação para culturas perenes (forrageiras e frutíferas), além de garantir a produção de culturas anuais mesmo com distribuição irregular do inverno.

Ainda Baracuh et al (2007) cita que estas técnicas são adequadas para locais com as seguintes características:

- Região com elevada taxa de evaporação dos açudes (em torno de $2,0 \text{ m ano}^{-1}$)
- Períodos muito pequeno de chuvas e/ou com irregularidades na distribuição ao longo do ano.

- Rio e riacho temporário que apresente um baixo ou ausente lençol freático no período seco.
- Áreas aluvionais dos riachos com condições que propicie exploração agrícola.
- Profundidade média de 2,0 m e calha viva do riacho pequena com relação a espessura e largura do aluvião.
- Riacho com qualidade de água adequada que evite concentração elevada de sais após o barramento.
- Calha viva do riacho pequena com relação a espessura e largura do aluvião.
- Declividade menor do riacho para produzir maior acúmulo de umidade.
- Distância das nascentes.
- Indicadas principalmente para propriedades pequenas, onde a construção de açudes promove ocupação expressiva da área existente.

2.2.2.1. Aspecto Histórico

Tigre (1949) afirma que os primeiros trabalhos realizados utilizando esta técnica de armazenamento de águas no subsolo foram na Califórnia, em Santo Antônio, por volta de 1895.

Só que desde o início do século XVIII, entretanto, as barragens vêm sendo utilizadas principalmente no Norte e Sudeste da África, Índia, Israel e Irã (PONÇANO, 1981). Para o IPT (1981), este tipo de barragem foi utilizado também no Saara, por hidrogeólogos franceses, com vistas à exploração de uma agricultura de vazante.

No Brasil, Silva (1998) refere-se à existência da primeira barragem subterrânea construída em 1919 na região semi-árida da Paraíba, com plantações de cana-de-açúcar e arroz, entre outras culturas. Já Silva & Rego Neto (1992), menciona a existência de barragens subterrâneas construídas por volta do ano de 1920 na região semi-árida do Rio Grande do Norte, onde eram utilizados materiais da própria região, sendo sua principal produção voltada para as culturas forrageiras, no sistema de exploração semelhante ao de agricultura de vazante.

Segundo o IPT (1981), no Nordeste brasileiro, a construção de barragens subterrâneas ocorreu com ênfase a partir de 1935, em Mossoró - RN, através da Inspetoria de Obras Contra as Secas, que tinha, como um de seus objetivos, a construção dessas barragens em rios intermitentes da região.

2.2.2.2. Aspectos construtivos

Citado por Ferreira (2010) a barragem subterrânea é uma obra construída na areia do riacho, que tem como finalidade principal impedir que a água nela acumulada continue a escoar. De preferência ela deve ser construída nos períodos de estiagem quando o nível da água subterrânea estiver mais baixo, principalmente em locais onde as águas das cacimbas possuam boa qualidade, onde exista áreas significativas de aluvião. Melhor ainda se existirem poços amazonas construídos na área. Após a identificação do local adequado à construção, é feita uma abertura transversal ao leito do riacho. Esta abertura pode ser feita de forma manual ou mecânica (tratores de esteira ou retroescavadeira), em seguida é colocado material impermeável (argila, lona plástica, etc.) de modo que venha impedir o fluxo natural da água subterrânea, concluída a obra, a vala é totalmente preenchida com o próprio material que foi retirado. Para o caso de se construir apenas um poço amazonas, ele deve ficar próximo e a montante do barramento. Deve-se aproveitar o momento da escavação da vala da barragem para servir de guia. Ele pode ser construído preferencialmente com manilha, devendo ser porosa na base (1 ou 2m de profundidade). Para o caso de consumos humano e animal, a água subterrânea armazenada nesta obra pode ser coletada através de poço amazonas, onde será colocado um equipamento de bombeamento a ser dimensionado em função da quantidade de água do poço.

- Apresenta maior rapidez na construção (três dias no máximo, se mecanizada).
- Os custos são baixos (da ordem de R\$ 6.000,00) incluindo o poço amazonas.
- Com a construção de um poço amazonas, é possível manter um controle adequado do processo de salinização.
- Pode ser executada com a mão-de-obra da própria comunidade beneficiada.
- É possível monitorar o nível d'água subterrânea continuamente ao longo do ano.

- A água nela acumulada pode ser utilizada para diversos fins: consumo humano e animal, usos domésticos, pequenas irrigações, entre outros.

Para o caso de utilização agrícola, ela pode ser feita de duas maneiras:

- Naturalmente, aproveitando a elevação do lençol freático;
- Utilização direta da água do poço amazonas em pequenas irrigações.

Também segundo Ferreira (2010) Hidrogeólogo do IPA para se construir uma barragem subterrânea em primeiro lugar é necessário verificar a importância social da obra, pois se a ação não despertar o interesse público estará destinada ao fracasso. Em segundo lugar, a água subterrânea do local não deve possuir taxas elevadas de salinidade, pois se isso acontecer poderá ocorrer um aumento na concentração dos sais na água da barragem, o que inviabiliza o seu aproveitamento. O depósito aluvionar (areia principalmente), identificado no leito do riacho, deve possuir espessura suficiente para justificar a construção da barragem (no mínimo 1,5m). O aluvião (material depositado pelo riacho) deverá ser constituído predominantemente por areias.

Ferreira (2010) ainda cita que é importante que ao mesmo tempo com a barragem subterrânea seja construído, na área de montante, pelo menos um poço amazonas, que terá como função principal permitir a retirada d'água subterrânea ali acumulada. O bombeamento permanente d'água vai servir para evitar a sua salinização através da renovação, principalmente na época chuvosa. A barragem subterrânea representa um tipo de construção hídrica considerada de baixo custo, com aspectos construtivos simples e que pode ser feita pela própria comunidade. É necessária a participação de um técnico em hidrogeologia na construção de uma barragem subterrânea. Ele irá selecionar o melhor local para se construir a obra, bem como orientar o processo construtivo propriamente dito. Também vai definir a vazão da exploração do poço amazonas. É importante que a barragem subterrânea seja construída no período de estiagem após a passagem das chuvas. É nessa época que vai acontecer um rebaixamento do nível freático da água (subterrâneo), permitindo a construção com mais facilidade. E também que, após a conclusão da barragem, seja feita uma arrumação de pedras na superfície e posicionado sobre o barramento. Isto servirá para represar a água e inundar a área a ser saturada da barragem.

Brito et al. (1999) cita que na construção dessas barragens alguns fatores devem ser observados, como a precipitação média da região, vazões dos rios/riachos ou linhas de drenagem, granulometria dos solos da área selecionada, qualidade da água, quanto ao aspecto salinidade, capacidade de armazenamento do aquífero e profundidade da camada impermeável. No local definido para a parede da barragem, abre-se uma valeta transversal ao leito do rio ou à linha de drenagem, com profundidade até a camada impermeável e largura, que varia em função da profundidade desta camada, do tipo de solo e do material a ser usado para a construção da parede; esta escavação pode ser manual, por meio de equipamentos simples disponíveis na propriedade, ou mecânica, usando-se máquinas. Em aluviões muito arenosos e secos ocorrem constantes desmoronamentos dos taludes, que dificultam o trabalho; nesses aluviões, facilmente se encontra lençol freático, que deve ser bombeado para baixar seu nível e permitir a escavação até a camada impermeável.

2.2.2.2.1 – Orçamento da barragem subterrânea mais poço amazonas

Segundo Baracuchy (2007) o orçamento quantitativo pode ser calculado seguindo as tabelas 2 e 3, é de fundamental importância ressaltar que estes quantitativos podem variar para mais ou para menos de acordo com as dificuldades apresentadas no local.

Tabela 2. Quantitativos para construção de uma barragem subterrânea.

BARRAGENS SUBTERRÂNEAS		
Material de consumo	Qtd.	Unid.
Lona plástica de 200 micras, 6 m de largura.....	31	m
Serviço terceirizado		
Escavação e reaterro (mecanizado) de vala de 0,65 m de largura e 3 m de profundidade	8	HT
Diárias		
Mão de obra para acabamento em pontos finais da vala, retirada de pedras do material escavado, colocação da lona na vala, etc.....	5	hd

Tabela 3. Quantitativos para construção do poço amazonas.

POÇO AMAZONAS COM ANEL		
Material de consumo	Qtd.	Unid.
Anel pré moldado com 1,5 m de diâmetro e 0,50 m de largura.....	9	un.
Tampa de concreto, com abertura.....	1	un.
Brita.....	0,20	m ³
Serviço terceirizado		
Escavação mecanizada do poço com 2,5 m de diâmetro e 4 m de profundidade	2	HT
Transporte dos anéis (variável de acordo com a distancia).....	1	vb
Diárias		
Mao de obra para acabamento com nivelamento nos pontos finais do poço, colocação dos anéis.....	3	hd

2.3. Qualidade de água

Ayers & Westcot (1999) a qualidade da água para uso das culturas está relacionada a seus efeitos prejudiciais aos solos e à toxicidade as plantas requerendo muitas vezes, técnicas especiais de manejo para controlar ou compensar eventuais problemas associados à sua utilização; desta forma, a conveniência de uma água para utilização em vegetação inserida em barragens subterrâneas deve ser avaliada juntamente com o estudo das condições locais de uso, tomando como base os fatores relacionados com a água, o solo e a tolerância da planta a determinado níveis de sais no solo.

Segundo Santos et al (1992) essas tecnologias são extremamente importantes para regiões em que o acesso à água é muito difícil e que as alternativas de abastecimento de milhares de pessoas são poços descobertos, valas ou pequenos açudes. Estes são comumente localizados em baixios para onde correm fluxos de água e dejetos, inclusive humanos, durante o período de chuvas constituindo-se, assim, em foco de contaminação e veiculação de doenças.

Sobre a comparação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos em reservatórios superficiais e no aquífero aluvial foi realizado um estudo no rio Palhano – CE (PUERARI, 1999), onde se estabeleceu uma proposta de manejo integrado e otimizado de recursos hídricos superficiais e subterrâneos aluviais, sob intervenções artificiais (barragens), avaliando a qualidade da água nos dois subsistemas. Como conclusão foi mostrado que a maioria dos parâmetros analisados para a água do reservatório superfi-

cial estava fora dos padrões de potabilidade permitidos, enquanto que as amostras de água do aquífero aluvionar apresentam melhor qualidade.

2.3.1. Irrigação

Pereira et al. (1991), citado por Nascimento et al. (2008), estudaram a qualidade das águas superficiais na microrregião do Seridó, RN, e concluíram que as fontes de água mais salina apresentam maior variabilidade que as de baixa salinidade; em geral, a qualidade da água para irrigação variou entre bacias hidrográficas e entre os tipos de fonte e, para determinada fonte, o nível de salinidade é maior na época que coincide com o período de irrigação (o verão ou época seca); utilizando a Classificação de Richards 71,9 % das fontes da água pesquisadas nessa região apresentaram águas de qualidade entre regular a excelente, para irrigação.

Cruz (1966), Mente et Al. (1966) e Leprun (1983), citado por Nascimento et al. (2008), viram que na zona semi-árida a salinidade da água aumenta muito da superfície para a profundidade e o maior acréscimo ocorre nos teores de sódio e cloreto. Na zona úmida a situação é o contrário, visto que a mineralização é maior na superfície do que em profundidade.

Para Shalhevet & Kamburov (1976) citado por Nascimento (2008) a distinção entre as diferentes águas usadas na irrigação depende das condições geoclimáticas da região, da fonte de água, da localização do curso de água, da época do ano e do desenvolvimento da irrigação.

Wilcox (1948), Richards (1954), Allison (1964), Shainberg & Oster (1978), Ayers & Westcot (1961), citados por Nascimento (2008) e outros apontam, como características mais importantes que determinam a qualidade de uma água para uso de irrigação, os seguintes parâmetros básicos: concentração total de sais solúveis, concentração relativa de sódio e concentração dos íons tóxicos.

Segundo Nascimento (2008) a água ao escoar por zonas de solo que possuem grandes quantidades de sais solúveis tem seu teor de sais aumentado antes do processo de armazenamento e posteriormente, esses sais serão depositados nos solos irrigados,

criando os problemas já citados, para os solos e para o desenvolvimento das plantas. A toxicidade se origina quando certos íons são absorvidos pela planta através da solução da água do solo e são acumulados nas folhas durante a transpiração, em quantidades suficientes para provocar danos. Os danos podem reduzir significativamente os rendimentos das culturas, e sua magnitude depende do tempo, da concentração dos íons, da sensibilidade das plantas e do uso de água pelas culturas (Ayers & Westcot, 1999). Os íons que podem tornar tóxicos em altas quantidades na água de irrigação são: o cloreto, que provoca a toxicidade mais freqüente com sintomas necróticos e queimaduras nas folhas, o sódio que é mais difícil de ser diagnosticado, e o boro que, mesmo em concentração muito pequena, pode ser tóxico para certas plantas. Os danos desses íons podem ser provocados individualmente ou em combinação.

Citado por Nascimento (2008) vários autores têm propostos esquemas de interpretação e classificação da água para irrigação. Wilcox (1948), Thorne & Thorne (1951), Richards (1954), Thorne & Peterson (1954), Ayers & Westcot (1976) e outros, se baseiam nos fatores que determinam sua qualidade, sobretudo, na salinidade total e na quantidade relativa de sódio. Scofield (1936) e Christiansen et al. (1977) consideram a concentração de cloreto, sulfato e boro etc. Doneen (1975), Kovda (1977) e Bhumbla (1977), consideram a permeabilidade do solo, a lixiviação e a tolerância das culturas. Eaton (1949) propôs uma classificação em função do carbonato de sódio residual. Dos sistemas de classificação de água propostos para irrigação, o recomendado pelo Laboratório de Salinidade dos EUA (Richards, 1954) é o que tem sido mais utilizado no mundo; entretanto, as diretrizes de classificação hoje propostas pela FAO (Ayers & Westcot, 1999), têm sido as mais recomendadas.

2.3.2. Dessedentação animal

Segundo Ayers & Westcot, (1999) nas regiões áridas e semi-áridas, o gado, em geral, consome águas de qualidade inferior durante vários meses do ano. De vez em quando, as águas contêm altos níveis de sais e provocam desarranjos fisiológicos e até a morte dos animais. O efeito mais comum é a falta de apetite que tem sua origem não apenas de um desequilíbrio no conteúdo de água nos tecidos, mas também, de uma toxicidade iônica, sendo o magnésio o íon que pode provocar mais facilmente diarreia no gado.

Após uma avaliação das fontes de água, as variações estacionais durante os períodos secos e quentes, a idade e condições dos animais, a composição dos alimentos e a própria espécie animal, e com fim de evitar perdas econômicas, a Academia Nacional de Ciências dos EUA (1972) citado por Ayers & Westcot (1999), estabeleceu que do ponto de vista da salinidade, as águas com uma condutividade inferior a 5 dS m são satisfatórias para o gado, praticamente em qualquer circunstância, porém nas regiões áridas e semi-áridas é necessário muitas vezes usar as águas que excedam do limite de 5 dS m⁻¹, onde pode-se observar, através da Tabela 4 alguns limites toleráveis para algumas espécies animais.

Tabela 4. Guia de qualidade de água para dessedentação de gado e aves.

Salinidade de água (dS m ⁻¹)	Classe	Observações
< 1,5	Excelente	Adequada para todas as classes de gado e aves confinadas.
1,5 - 5	Muito satisfatória	Adequada para todas as classes de gado e aves confinadas. Provoca diarreia temporária em gado não acostumado e excrementos aquosos nas aves.
5,0 – 8,0	Satisfatória para o gado	Pode produzir diarreia temporária ou não ter aceitabilidade por animais não acostumados a ela.
	Não apta para as aves	Provoca frequentemente excrementos aquosos, aumento de mortalidade e redução de crescimento, especialmente em perus.
8,0 – 11,0	De uso limitado para o gado	Adequada com razoável segurança para bovinos de leite, de corte, ovinos, suínos e eqüinos. Evitar para fêmeas prenhas e em lactação.
	Não apta para as aves	Não adequadas para aves domésticas.
11,0 – 16,0	De uso limitado	Não adequada para aves e provavelmente para suínos. Grande risco para vacas lactentes ou prenhas, ovinos e eqüinos. Evitar seu uso, embora os ruminantes, cavalos, suínos e aves mais velhos possam subsistir em certas condições.
> 16,0	Não recomendável	Riscos muito grandes

2.3.3. Consumo humano

A poluição orgânica das águas superficiais aumenta a concentração de carboidratos, lipídios e proteínas nos corpos receptores. Esses compostos orgânicos, ao serem degradados pelos organismos decompositores, principalmente bactérias e fungos, liberam ácidos fracos e sais minerais, entre os quais há compostos de nitrogênio e fósforo.

A biodegradação aeróbia da matéria orgânica pode gerar elevada demanda de oxigênio (DBO), reduzindo a sua concentração no corpo aquático. Quando o consumo do oxigênio é alto, a reaeração atmosférica e a atividade fotossintética podem ser insuficientes para repor o oxigênio dissolvido na massa d'água; e então predominam condições anaeróbias e, em conseqüência, desaparecem os organismos aeróbios surgindo, em seu lugar uma biota anaeróbia, que não oxida completamente a matéria orgânica e cujos produtos se acumulam no fundo e, pela continuação do processo de decomposição anaeróbia, ocorre desprendimento de gases com odores desagradáveis (H₂S, mercaptanas entre outros) que tornam essa água imprestável ao abastecimento e à irrigação (BRANCO 1986).

A avaliação da qualidade da água para fins de consumo humano quanto aos parâmetros físicos e químicos, é a seguir apresentada segundo os critérios do ministério da saúde (MS) através dos valores da Tabela 5.

Tabela 5. Padrão de aceitação de água para consumo humano, segundo artigo 16º da Portaria nº 518/04, do Ministério da Saúde.

PARÂMETRO	Unidade	VMP ¹
Alumínio	mg/l	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg/l	1,5
Cloreto	mg/l	250
Cor Aparente	uH ²	15
Dureza	mg/l	500
Etilbenzeno	mg/l	0,2
Ferro	mg/l	0,3
Manganês	mg/l	0,1
Monoclorobenzeno	mg/l	0,12
Odor	-	Não objetável ³
Gosto	-	Não objetável ³
Sódio	mg/l	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/l	1000
Sulfato	mg/l	250
Sulfeto de hidrogênio	mg/l	0,05
Surfactantes	mg/l	0,5
Tolueno	mg/l	0,17
Turbidez	mg/l	5
Zinco	mg/l	5
Xileno	UT ⁴	0,3

NOTAS:
¹ Valor máximo permitido
² Unidade Hazen (mg Pt -Co/L)
³ Critério de referência
⁴ Unidade de turbidez.

2.4. Salinização e sodicidade dos solos

Citado por Nascimento et al. (2008) em regiões úmidas, e por se tratar de zonas com precipitações elevadas, solos profundos e com relevo ondulado os sais liberados durante a intemperização são lixiviados até ao lençol freático ou são eliminados dos locais de origem através das águas superficiais, enquanto nas regiões áridas e semi-áridas

das, devido ao déficit hídrico ser maior em parte do ano e, na maioria das vezes, por serem solos rasos ou apresentarem camadas impermeáveis no perfil, aliado à existência de topografia relativamente plana, esses sais junto com a água são depositados em depressões, nas quais estarão sujeitos aos processos de evaporação e/ou evapotranspiração, podendo com o tempo atingir níveis elevados e comprometedores para o crescimento e desenvolvimento das culturas (Richards, 1954; Pizarro, 1978).

Ferreira (2010) cita, é possível que, se a barragem subterrânea não for explorada adequadamente, aconteça um aumento na concentração de sais em suas águas. No entanto, com a construção do poço amazonas, é possível retirar água do manancial subterrâneo, evitando desse modo o aumento da salinização com a renovação de suas águas.

De acordo com Brito et al. (1999) Para diminuir o risco de salinização dessa área, devido ao aumento progressivo na concentração de sais, recomenda-se colocar um tubo de descarga, de aproximadamente 4 polegadas de diâmetro, sobre a camada impermeável, partindo da montante, e perfurando a parede da barragem, até jusante, em cuja extremidade se deve colocar uma curva de 90° com um outro tubo, o qual funcionará como poço, podendo a água ser bombeada com frequência. Este tubo facilitará a lavagem do perfil do solo, carreando os sais dissolvidos na água da barragem e funcionando como descarga de fundo. Esta recomendação também é defendida por Costa (1999) citado por Brito et al. (1999), reforçando que alguns agricultores da região que construíram barragens subterrâneas sem considerar esses aspectos, estão correndo sérios riscos, a médio prazo, com a possibilidade de salinização dos solos, tornando-os impróprios para as culturas. Outra alternativa será construir poços amazonas à montante da barragem, que permitirá a captação de água para objetivos diversos e para o esgotamento do aquífero, garantindo a renovação da água.

Enquanto a acumulação de sais torna o solo floculado, fofo e bem permeável, o aumento de sódio trocável poderá torná-lo adensado, compacto em condições secas, disperso e pegajoso em condições molhadas. Devido a esses fatos, o solo sódico apresenta permeabilidade baixa, e qualquer excesso de água ficará empossado na superfície do solo, impedindo a germinação das sementes e o crescimento das plantas por falta de aeração (GHEYI et al. 1992).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localizações do projeto

O projeto iniciou-se com a realização de dois cursos sobre técnicas de captação de construção de barragens subterrâneas sendo um na cidade de Poço Dantas – PB (Figura 1) e o outro na cidade de Triunfo – PB (Figura 2). Para que os alunos do curso assimilassem melhor a técnica foram construídas duas barragens em cada município assim como os poços Amazonas em concomitância.

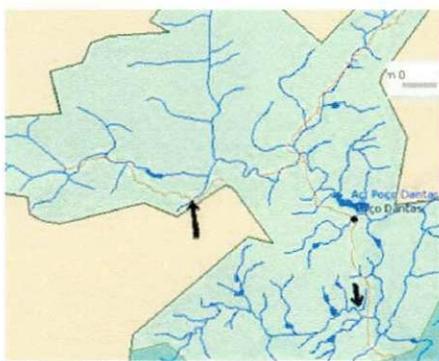


Figura 1. Indicação da rede de drenagem de Poço Dantas, e nas duas setas os setores de riacho que foram construídas as barragens subterrâneas do curso no município.



Figura 2. Detalhe da Rede de drenagem do município de Triunfo, com setas indicadoras dos locais onde foram realizadas as aulas práticas com barragem subterrâneas.

A primeira barragem, no município de Poço Dantas, foi construída na propriedade do senhor José Clarindo, localizada no sítio Saquim município de Poço Dantas, uma pequena gleba de terra usada na agricultura familiar, sob ponto central do riacho com latitude sul $6,39779^{\circ}$, longitude oeste de $38,54005^{\circ}$, há 559 metros de altitude, com acesso nas margens da estrada de terra, distante 9 Km da sede do Município com destino ao distrito São João Bosco.

A segunda barragem, no município de Poço Dantas, foi construída na propriedade do senhor Antonio Paulo de Oliveira, localizada no sítio “Gólfê” distante 2 Km da sede do Município indo no sentido do município do Uiraúna no dia 09/01/2010, em pequena gleba de terra, herdada do seu pai, também usada na agricultura onde a sua

parte de uso fica um dos pontos, a 6,42797° latitude sul e 38, 49517° de longitude oeste, em altitude de 416 m, terra usada na agricultura familiar e criação de poucos animais.

A terceira barragem, no município de Triunfo, foi locada na propriedade do senhor José Willian Duarte , localizada no sitio Sossego distante 7,5 Km da sede do Município indo no sentido do município Bernardino Batista, em pequena gleba de terra, também usada com sistema de agricultura familiar, com pequenas fruteiras e um pequeno plantio de cana de açúcar para alimentação dos animais ao longo do leito do riacho onde o trecho escolhido fica a uns 100 metros jusante de um pequeno açude com suas coordenadas geográficas no centro do barramento de 6,54340° latitude sul e 38, 57798° de longitude oeste, em altitude de 345 m.

A quarta barragem foi construída no município de Triunfo na propriedade do senhor Severino Adelino de Moura, localizada no sitio Gamela, distante 2 Km da sede do Município indo no sentido da comunidade de Gamela, em pequena gleba de terra, também usada com sistema de agricultura familiar, e em leito de riacho que colhe água de serra, onde tem “brotação” de olhos d’água, foi localizado como coordenadas geográficas no centro do barramento 6,571694° latitude sul e 38,602944° de longitude oeste, em altitude de 316 m.

A construção do poço amazonas era feita na parte mais profunda das barragens, por ser detectada a existência de água nos córregos.

Durante as escavações das barragens foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 2.80, 1.80, 0.80, 0.10, para B1, para B2, para B3, para B4, também foram coletadas amostras de água para obter resultados quando ao teor de sais ao longo da profundidade. As amostras de solo e de água analisou-se os teores de sais e posterior classificação.

Foi coletada água de dois poços amazonas de B1, de B2 e de uma fonte a montante da barragem B4.

A escolha dos locais onde seriam construídas as barragens subterrâneas foi previamente visitada e escolhidos após avaliação dos vários locais quais teriam melhor perfil técnico para as condições do aspecto construtivo e de apoio logístico na acomodação dos alunos durante a aula pratica.

Ao chegar ao local observava-se quais os melhores pontos onde a barragem poderia ser encaixada, tendo assim uma boa ancoragem e que a água precipitada não provoca-se escavação no solo e rasgasse a lona, para isso foram procuradas duas ombreiras estanques. O percurso entre uma ombreira e outra deve ser o menor possível para economia de material.

O método utilizado na construção das barragens subterrâneas foi o de Costa & Melo (1981)

O processo de construção era feito por meio de escavação mecanizada perpendicular ao leito do rio, até que o septo atingisse o material rochoso impermeável.

O material escavado era colocado a montante para evitar problemas na colocação da lona e no fechamento da barragem.

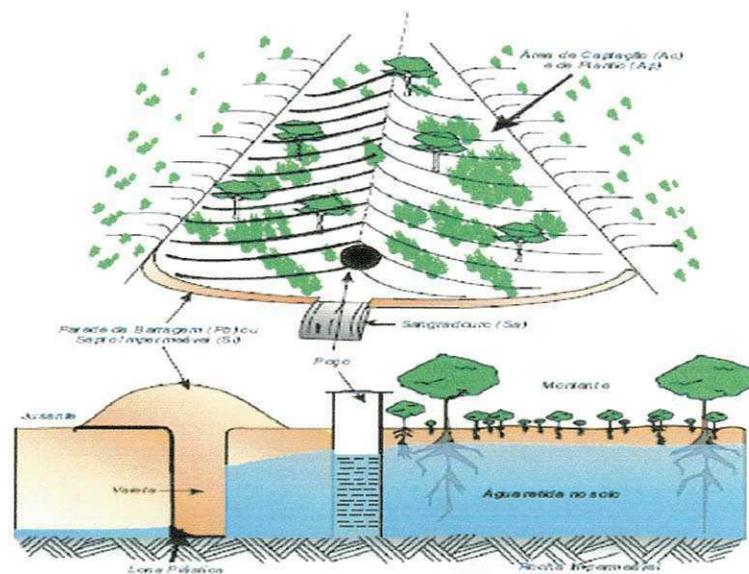
As barragens eram impermeabilizadas com uma lona plástica de 200 micra, bastante resistente as intempéries apresentando maior durabilidade.

A escavação mecanizada do poço amazonas era feito a pelo menos 1m mais largo que o diâmetro dos anéis para que a retroescavadeira fizesse a limpeza adequada do fundo da vala e facilitasse o acomodamento dos anéis e produzisse uma pequena escadaria para descida do operador ao fundo do poço para fazer os devidos acabamentos.

Na construção da barragem foi utilizado:

- Lona plástica de 200 micras de 6,0 m de largura;
- Anéis premoldados;
- Horas maquinas (retroescavadeira);
- A Mão de obra foi a dos alunos do curso.

Na Figura 3 pode ser vista a ilustração de uma barragem e do poço amazonas.



barragem subterrânea. Adaptado de www.irpaa.org (Desenho: Jhannes Gomes Lopes).

Figura 3. Ilustração de como se comporta uma barragem subterrânea.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Construção de barragens subterrâneas e poços amazonas no município de Poço Dantas

1º Barragem

A barragem teve início no dia 07/01/2010 no início da manhã, onde os alunos do curso compareceram além da cota prevista (metade) e acompanharam todo o processo de construção e também ajudaram com a mão de obra. Logo no começo conseguiu-se encontrar a rocha que deu uma maior segurança na ancoragem obtendo uma boa vedação.

O único obstáculo durante a escavação foi a grande quantidade de pedregulho (oriundo de diferentes enxurradas, pois as pedras na sua maioria eram roliças e diferentes características) encontrado no percussor de escavação da barragem mas facilmente contornado pelo operador da máquina que era bastante habilidoso.

A barragem foi locada e construída em uma linha de drenagem pequena com pouca declividade para evitar que a força da água destruísse a estrutura da barragem, pois, em um ponto próximo ao começo na linha de drenagem a água não tem um potencial ou velocidade tão grande, conforme Figuras 3 e 4.



Figura 4 - Área a ser construída a primeira barragem antes de ser limpa.



Figura 5 - Máquina limpando o local onde vai ser escavação da barragem.

Depois da locação da barragem iniciou-se a construção da mesma, primeiro foi feito a limpeza do local e em seguida iniciou-se a escavação, os primeiros metros não foram profundos e apresentaram muitas rochas fraturadas, mas alguns metros à frente encontraram a rocha de firmamento que garantiria a impermeabilização da obra, Figuras 5 e 6.



Figura 6 - Máquina limpando o local da construção.



Figura 7 - Inicia da escavação da barragem.

A barragem inicialmente apresentou-se com profundidades pequenas, mas em seguida estas começaram a aumentar e chegando a profundidade de 3,30 m quase que até o final nesta profundidade e subindo rapidamente quando encontrou a rocha que tinha uma inclinação. Figuras 8 e 9.



Figura 8 - Mostra o início da escavação.



Figura 9 - Mostra o discreto aparecimento de água identificando onde seria o leito do rio.

No meio do percurso de escavação da barragem encontrou-se o centro do rio e só podemos identificar devido a uma pequena quantidade de água que minou discretamente no fundo da barragem e foi onde, a montante, colocou-se o poço amazonas, pois era garantida a existência de água, Figura 10.



Figura 10 - O senhor Jose Clarindo limpando o fundo da barragem para uma melhor vedação.

Antes da conclusão da escavação, visto que uma parte ia ficar para o dia seguinte providenciou-se logo a colocação da lona ate próximo o final e aterrou-se a vala para evitar a perda do trabalho caso chovesse ou se houvesse um deslizamento de barreira, e no dia seguinte retorno-se a escavação e concluiu-se a impermeabilização com a lona, Figura 11 e 12.



Figura 11 - colocação da lona com o auxílio de pedras. **Figura 12** – colocação da lona.

A barragem apresentou pouca profundidade nos primeiros 20 m, mas após esta marcação a escavação aprofundou chegando a uma profundidade de 3,30 m e esta continuou ate o final da mesma quando encontramos a rocha para fazer o fechamento e garantindo ancoramento e vedação da barragem. Com isso a extensão da barragem ficou com 45,30m (Figura 13) tendo resultado numa escavação de 222 m³ de solo com reaterro.

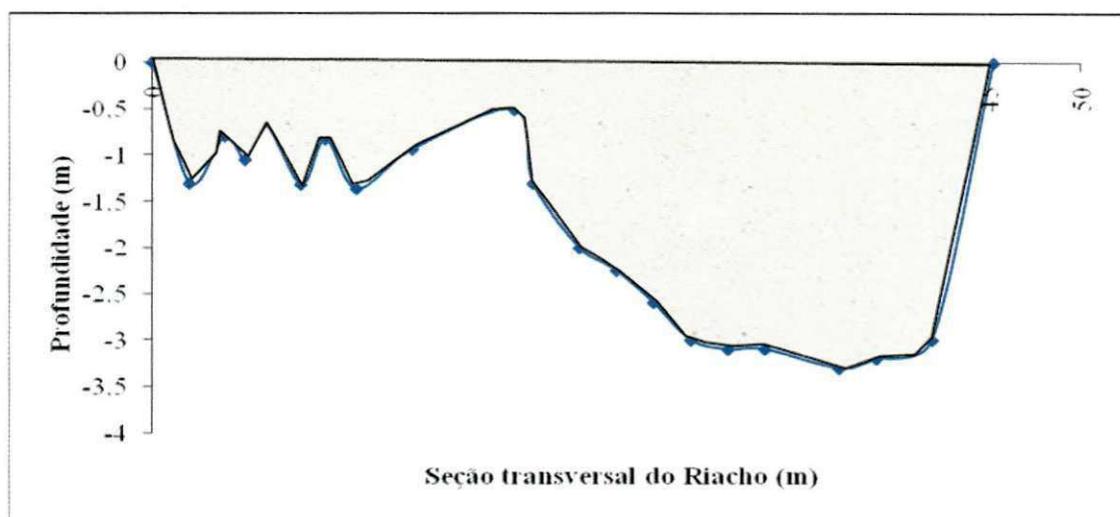


Figura 13 -. Perfil transversal da escavação da Barragem 1, no município de Poço Dantas-PB.

As amostras analisadas identificaram solo normal quanto ao teor de sais e a água coletada após colocação dos anéis teve condutividade elétrica de $0,84 \text{ dS m}^{-1}$, classificada como C3, mas que está dentro dos níveis de limite tolerável segundo portaria 518/04 do Ministério da Saúde, e excelente para dessedentação animal.

A construção do poço amazonas se deu na parte mais profunda da barragem, pois foi onde foi detectada a existência de água no córrego. Parte da construção onde requer muita mão de obra e bastante cuidado para que não haja acidentes. Após a escavação e nivelamento da base do poço começa a descida dos anéis de concreto premoldados de 1,50 m de diâmetro por 0,50m de altura um trabalho minucioso e cuidadoso devido ao perigo no manuseio dos anéis, que já são feitos nesses parâmetros para facilitarem a colocação pela retroescavadeira, após a descida do primeiro anel o operário tem que entrar na abertura do solo e alinhar o anel para que haja uma boa acomodação e para não ficar torto, gerando problemas na acomodação dos subseqüentes. O alinhamento serve, também, para diminuir as fendas entre os anéis evitando a entrada de sedimentos e posteriormente o aterramento do poço. As Figuras 14, 15, 16, 17, 18 e 19 apresentam os aspectos construtivos dos poços amazonas.



Figura 14 - limpeza para acomodação do 1º anel.



Figura 15 - amarração e colocação do 1º anel.



Figura 16 - descida do primeiro anel.



Figura 17 - descida do segundo anel.



Figura 18 - uso da lanca para acomodação dos anéis.



Figura 19 - colocação do ultimo anel.

2º Barragem

A barragem foi locada em um pequeno curso da rede de drenagem onde o próprio agricultor já utilizava como área de plantio por se tratar de terras baixas e que

teria uma boa ancoragem da barragem, pois já existia um pequeno barramento feito pelo produtor para armazenar água no período chuvoso e desenvolver o plantio do arroz da terra. Figura 20 e 21.



Figura 20 - Mostra pequeno barramento já existente na área.



Figura 21 – Vista da área onde vai ser construída a barragem.

Após a limpeza da área foi dado início da construção da barragem, onde logo encontrado a rocha de ancoragem, em seguida a máquina chegou a uma profundidade de 3,00 metros e com mais alguns metros de escavação encontramos uma profundidade de 3,50 e uma camada de solo arenosa e muito pedregosa de onde surgiu um fluxo intenso de água. Na figura a seguir podemos observar o perfil de escavação da barragem e como ela se comportou durante a escavação. Figura 22.

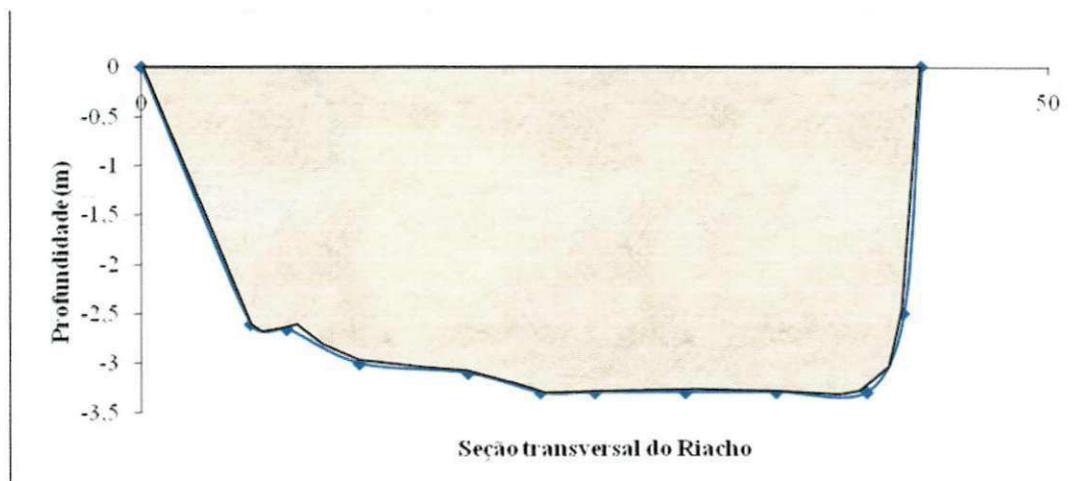


Figura 22 -. Perfil transversal da escavação da Barragem 2 no município de Poço Dantas-PB.

A escolha da locação do barramento, para a barragem subterrânea, foi adequado pois mesmo estando em uma época de seca encontrou-se uma boa quantidade de água. Figuras 23 e 24.

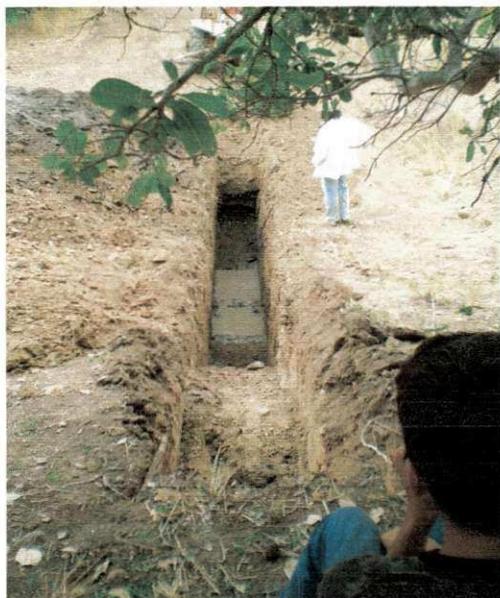


Figura 23 - Perfil do corte e logo o surgimento de água.



Figura 24 - Grande quantidade de água dentro da Barragem.

Durante a construção da barragem não foi previsto que esta água iria gerar problema na execução a obra, devido a ultima camada, solo próximo ao centro do rio, ser constituído por uma camada de sedimentos composta de um material pedregoso e muito arenoso (seixos rolados), com o movimento da água promovido pela retroescavadeira fez com que sedimentos fossem retirados enfraquecendo a barreira. Com isso a barragem ficou com pouca estabilidade, principalmente com o peso excedente do material retirado da vala, que foi sobreposto do lado a montante da barragem. O movimento da água fez com que desagregasse, cada vez mais, sedimentos formando uma manta de sedimentos de aproximadamente 0,5m no fundo da vala, todos estes fatos contribuíram para houvesse o rompimento da barreira. Mesmo que não houvesse o rompimento da barreira a vedação já estava comprometida devida a grande quantidade de sedimentos acumuladas na base da vala. Figuras 25 e 26.



Figura 25 – Momento em que a barreira desmorona.



Figura 26 - Grande parte da barreira que caiu.

Em seguida a barragem foi fechada para aplicar uma técnica diferente assim obtendo mais segurança e vedação no fundo da barragem. Para que isso fosse possível foi colocada a lona durante a escavação, esta técnica consome mais lona devido ao seu franzido, mas em compensação pode-se garantir maior eficácia na vedação do fundo. Figuras 27 e 28.



Figura 27 - Fechamento da barragem.



Figura 28 - Reconstrução da barragem colocando logo a lona.

Mesmo com todas estas precauções ao reabrir a vala, as barreiras que antes haviam caído retornaram a cair, mas só que como o solo já estava desagregado não houve riscos de rasgar a lona e de acidentes.

Com a queda da barreira, formou um local de fácil construção para o poço amazonas, pois a área já estava quase toda aberta e se encontrava a maior profundidade do leito do rio e sendo assim foi aproveitado para construção do poço amazonas. Após a descida e acomodamento dos anéis já pode ser observado uma boa quantidade de água dentro do poço. Figuras 29 e 30.



Figura 29 - Acomodação do 1º anel.



Figura 30 - panorâmica da área antes do total fechamento.

Pode-se observar na Figura 29 a quantidade de água existente no poço, e na Figura 30 o quanto de solo foi removido para dar maior segurança na construção da barragem.

Aproveitando a escavação do poço nos foram coletadas amostras de solo nas seguintes profundidades 3.00, 1.50, 0.10. As análises de solo extraídas dos três níveis de profundidade e água coletada do poço construído, tiveram como resultado solo normal quanto aos níveis de sais, e a Condutividade elétrica da água no valor de 0,88 dS m⁻¹ o que classifica como C3, mas que está dentro dos níveis de limite tolerável segundo portaria 518/04 do Ministério da Saúde para o consumo humano, e excelente para dessedentação animal.

4.2 Construção de barragens subterrâneas e poços amazonas no município de Triunfo

3º Barragem

Usando dos mesmos artifícios de execução das barragens anteriormente citadas, em uma pequena Linha de drenagem foi locado o barramento, onde o próprio proprietário já utilizava para produzir forragem para os animais. O riacho também é alimentado por um açude que fica a montante, ou seja, com a construção do barramento subterrâneo, a água que antes descia pelo leito pode ser barrada e aproveitada irrigando o plantio de cana de açúcar por muito mais tempo.

Ao começar a escavar observou-se que o solo era muito duro, pouco profundo e a vala ficou com ondulações que em alguns pontos chegava quase à superfície do terreno. Figuras 31, 32 e 33.



Figura 31 - Limpeza da área barragem subterrânea.

Figura 32 – Escavação da barragem subterrânea.

Figura 33 – Vista a montante da barragem subterrânea.

A barragem foi relativamente pequena, com 20,00 m de comprimento e apresentou-se com pouca profundidade em quase toda sua extensão, o operador da máquina teve bastante trabalho para escavar a esta profundidade, pois como podemos ver nas imagens a escavação logo atingiu a rocha, base de sustentação e impermeabilização, com isso pode-se garantir uma boa vedação. A Figura 34 mostra o perfil construtivo dessa barragem subterrânea.

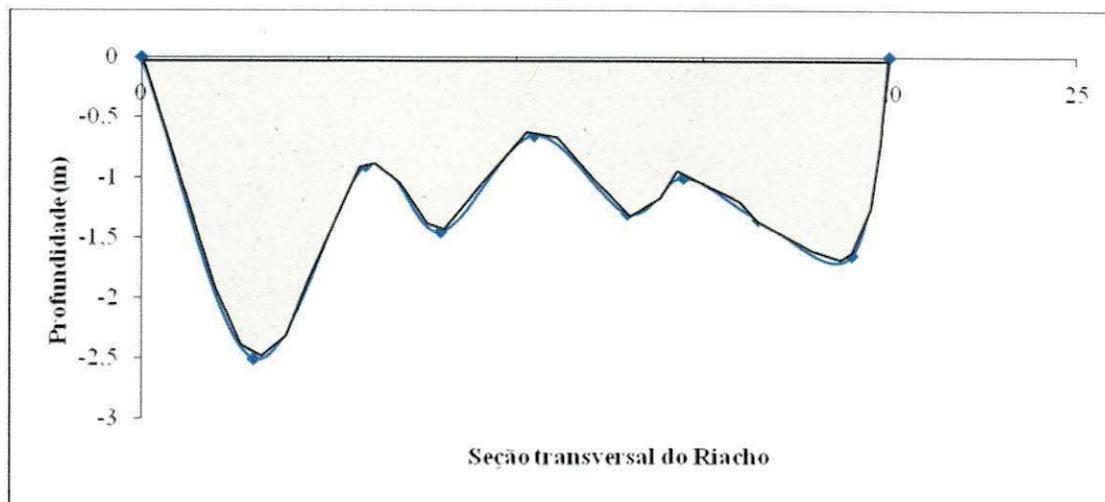


Figura 34 -. Perfil transversal da escavação da Barragem 3 no município de triunfo - PB.

Sabendo-se que uma barragem para ter um bom aspecto construtivo teria que ter pelo menos 1.60 m de profundidade, o que asseguraria uma boa capacidade de armazenagem de água. Em grande parte da extensão, observou-se pouca profundidade desse barramento. Figura 35 e 36.



Figura 35 – Colocação da lona na vala.



Figura 36 - Fechamento da barragem.

A construção do poço foi feita mais a montante da barragem para que pudesse obter uma profundidade maior devido as condições de solo encontrado, próximo ao barramento, com tudo, conseguiu-se uma profundidade de 2,20 m neste trecho. Não foi observado água em nenhum momento da execução do poço e nem da barragem. Durante a escavação, como podemos observar nas Figuras 37 e 38 não verificou água.



Figura 37 – Descida dos anéis.



Figura 38- vista da barragem próximo ao termino.

Nas figuras 37 e 38, podemos observar a quantidade de anéis que foi colocado no poço, ao todo foram 6 anéis de 0,50 m e apenas quatro foram aterrados completamente, ficando um e metade de outro.

As análises de solo extraídas em três níveis de profundidade, tiveram como resultado solo normal na superfície e no fundo da vala, porém foi detectado um PSI elevado de sódio e CEes, elevado a 1,0 metro de profundidade, caracterizando um solo ligeiramente salino e sódico.

4º Barragem

A barragem ficou localizada próximo a um cenário de serras (Figura 39) muito íngremes que abastecem este riacho só que devido ao rápido escoamento o solo fica sem umidade, necessitando de uma obra, como a construção da barragem subterrânea para que a água pudesse ficar armazenada, no solo, por um longo período do ano.



Figura 39 –Vista das serras a montante da barragem

A locação da barragem foi um pouco complicada de ser definida, devido à largura do leito do rio ser muito longo mesmo se tratando de uma drenagem pequena de aproximadamente 1,5 km. Chegada à conclusão do local, devida as condições de ancoragem da barragem em rochas que afloravam a superfície, foi escavada no local predeterminado e observado que a rocha tinha o perfil desejado para a sustentação. Na Figura 40 podemos observar todas as ondulações encontradas na escavação da vala.

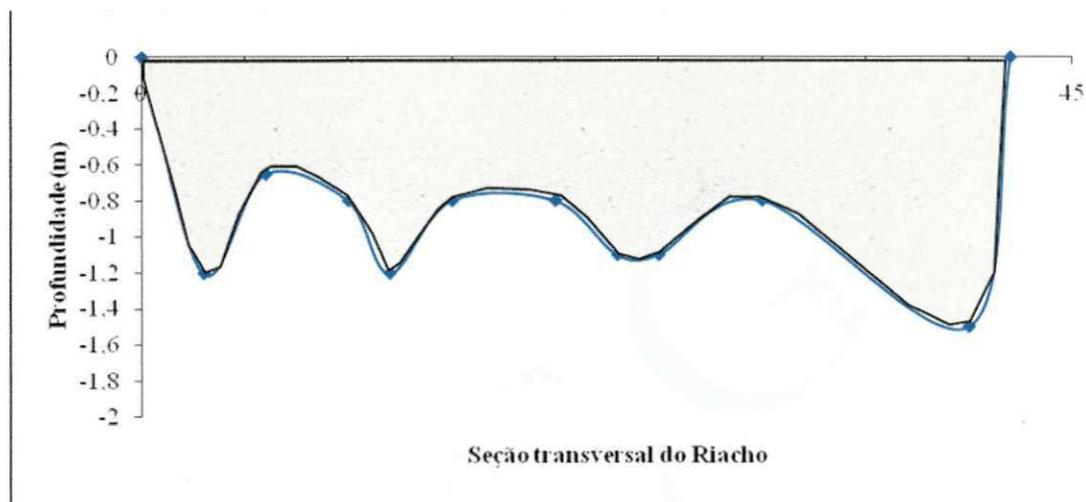


Figura 40 -. Perfil transversal da escavação da Barragem 4 no município de triunfo - PB.

Em seguida se deu a escavação do resto da barragem e esta também se mostrou muito rasa e com ondulações em seu percurso com profundidades variando de 0,50 m a 1,20 m. À montante do barramento, já existia um poço artesiano desativado que no indicava uma boa profundidade, Figura 41, 42 e 43.



Figura 41 - Locação da barragem.



Figura 42 – Escavação e Colocação da lona



Figura 43 – Fechamento da barragem.

Aproveitando a existência do poço amazonas desativado foi feita a limpeza do local mesmo retirando todo o aterro e os tijolos que faziam a sustentação das barreiras com isso economizou-se um pouco de tempo e horas de maquina, uma vez que tinha boas informações do poço. Com a reescavação do poço nesse local conseguimos uma profundidade de aproximadamente 3,00 m, como podemos observa nas Figuras 44, 45 e 46 que se seguem.

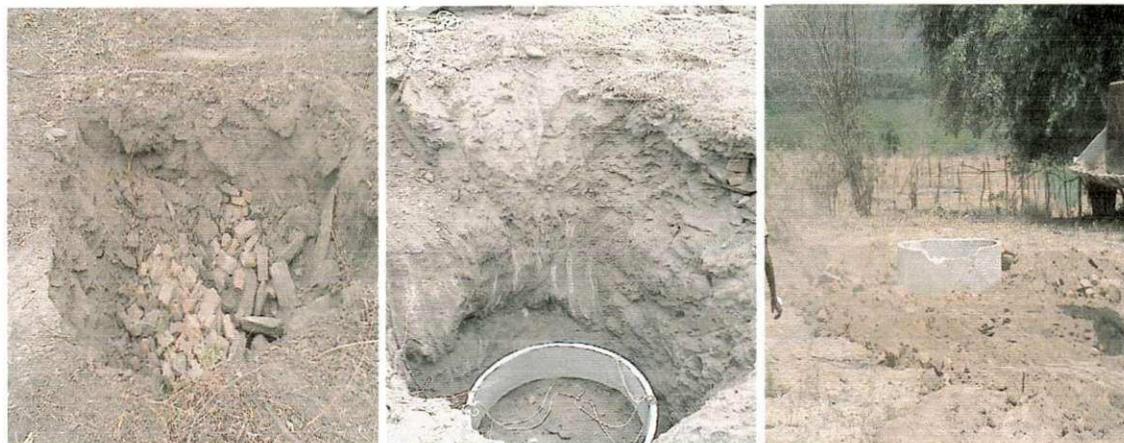


Figura 44 – Poço entupido.

Figura 45 – Descida do primeiro anel.

Figura 46 – Poço pronto.

As análises de solo, coletadas em três níveis de profundidade, além da água coletada do poço construído, tiveram como resultado solo normal quanto aos níveis de sais, e a condutividade elétrica da água em fonte de Olho d'água em trecho montante, localizada a uns 500 metros da área e na baixada da serra, teve valor de $0,22 \text{ dS. m}^{-1}$ o que classifica como uma água C1, sendo excelente para uso como irrigação em plantas sensíveis a salinidade, como também os parâmetros de salinidade está dentro dos limites tolerantes de sais segundo portaria 518/04 do Ministério da Saúde para o consumo humano, além de excelente para dessedentação de qualquer animal.

5. CONCLUSÃO

Diante do que podemos observar do projeto Aprender Fazendo Técnicas de Captação de Água e Contenção de Solo, esta relação que interliga o curso teórico com a prática, mostrou-se muito interessante devido a desmistificação do que significa uma construção de uma barragem subterrânea.

A qualidade das águas quanto ao teor dos sais foram adequadas para o uso de irrigação, dessedentação animal e consumo humano. E os solos predominaram com características normais quanto a salinização e sodicidade no perfil analisado.

Com a construção dessas barragens subterrâneas pode concluir que não é uma regra exata e que cada uma tem suas peculiaridades exigindo do técnico responsável destreza e raciocínio rápido para contornar os adversos que venha acontecer durante a construção.

6. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

AESA- Agencia Executiva de Gestão das Águas do estado da Paraíba, acessado em 20/06/2010 www.aesa.pb.gov.br/.

Ayers, R.S.; Westcot, D.W. **A Qualidade da água na agricultura. Estudos, irrigação e drenagem** a 29 Revisado 1. 2 Ed. Campina Grande, UFPB, 1999, 153p.

Boff, L; teólogo, acessado em 20/06/2010 <http://www.caritas.org.br/index>.

Branco, S. M. **Hidrobiologia Aplicada À Engenharia Sanitária**. 3ª Ed. São Paulo, CETESB/ASCETESB, 1986. 640p.

Brito, L. T. de L.; Silva, D. A. ; Cavalcanti, N. de B.; Anjos, J. B. dos ; Rego, M. M. . **Alternativa tecnologia para aumentar a disponibilidade de água no semi-árido**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, v. 3, n. 1, p. 111-115, 1999.

Cavalcanti, N.B.; Brito, L.T.L.; Resende, G.M; Embrapa Semi-Árido. **Escassez e desperdício de água de chuva em comunidades do semi-árido do Nordeste** Revista Imbu Brasil, publicado em 01/10/2005.

Costa, M. R; Cirilo, J. A.; Gunkel, G.; Montenegro. S. M.G.L.; **Qualidade da Água em Fontes Superficiais e Subterrâneas no Semi-Árido Brasileiro**.

Costa, W. D. **Manual de barragens subterrâneas. Conceitos básicos, Aspectos Locacionais e Construtivos**. Recife-PE, 1997

Fernandes, A. C.; Jalfim, F. T.; Farias, M. J., **Ajuste na Técnica de Construção da Cisterna de Placas (modelo pintadas) Para Facilitar a sua Implantação em Locais de Solos Rasos**. Programa de Apoio à Agricultura Familiar da Diaconia.

Ferreira, J. A., **Barragem subterrânea**, acessado em 28/06/2010 <http://www.ipa.br/resp63.php>.

Fontes, A.S.; Oliveira, J. I. R.; Medeiros, Y. D. P. **A Evaporação em açudes no semi-árido nordestino do Brasil e a gestão das águas**. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa – PB 2005.

Gnadlinger, J., **Técnica de Diferentes Tipos de Cisternas, Construídas em Comunidades Rurais do Semi-Árido Brasileiro**. Anais do 1º Simpósio sobre Captação de Água de Chuva no Semi-Árido Brasileiro, 2000.

Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Batista, M. A. F. **Prevenção Manejo e Recuperação dos Solos Salino Sódico**. Mossoró-RN – Jan. 1992. 70p (Apostila).

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). **Levantamento das potencialidades para implantação de barragens subterrâneas no Nordeste: bacias dos Rios Piranhas – Açu RN e Jaguaribe CE.** IPT- São Paulo-SP, 1981 56p.il. Relatório 14887, acessado pelo www.ibge.gov.br.

Mendes, E. M.; Escola Família Agrícola de Pintadas, Bahia, Brasil **Experiência de Cisternas de Placa de Pintadas** [www.cpatsa.embrapa.br /.../doc/.../12_2_Edny_Marcos_Mendes.doc](http://www.cpatsa.embrapa.br/.../doc/.../12_2_Edny_Marcos_Mendes.doc)

Nascimento, J. W. B. do; Azevedo, M.A. de; Farias, S. A. R, **Barragens Subterrâneas** Campina Grande, PB, ED. Agenda, 2008, 1ª Edição, 96 p.

Puerari, E. M. **Análise Comparativa dos Parâmetros Físico-Químicos e Bacteriológicos no Reservatório Superficial Chile e no Aquífero Aluvial Adjacente – Morada Nova/CE,** Dissertação, Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos, Fortaleza – CE, 1999. 80 p.

Rebouças, A.C.; Marinho, M.E. **Hidrologia das secas do Nordeste do Brasil.** Recife, PE, SUDENE - DRN, Divisão de Hidrologia, 1972. 126p. Brasil. SUDENE. Hidrologia, 40.

Shalhevet, J. & Kamburov, J. **Irrigation and salinity: A word-wind survey.** New Delhi, **International Comission on Irrigation and Drainage**, 1976. 106p.

Silva, D. A. & Rego Neto, J. (1992). **Avaliação de barragens submersíveis para fins de exploração agrícola no semi-árido.** In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem, Natal- RN, vol. 1, p. 335-361.

Silva, F. F. (1998). **Investigação e Modelamento do Fluxo Subterrâneo em Aquífero Aluvial no Semi-Árido da Paraíba,** Laboratório de Hidráulica - DEC/CCT/UFPB, Dissertação, Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos, Campina Grande-PB, 109p.

Tigre, C.B. (1949). **Barragens subterrâneas e submersas como meio rápido e econômico de armazenamento de água.** Anais Inst. Nordeste, Fortaleza – CE 13-29.

Yoshioka, M. H.; Lima, M. R. de, **Experimentoteca de Solos Porosidade do Solo.** Projeto Solo na Escola – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da UFPR.