Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
Centro Acadêmico do Agreste - CAA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental - PPGECAM
Área de Concentração: Tecnologia Ambiental

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM BARRAGEM SUBTERRÂNEA NO SEMIÁRIDO

Valdemir Ferreira da Silva

Orientadora: D.Sc. Sylvana Melo dos Santos

Coorientador: D.Sc. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Caruaru - PE - Brasil
2013

VALDEMIR FERREIRA DA SILVA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM BARRAGEM SUBTERRÂNEA NO SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental. Área de concentração: Tecnologia Ambiental.
Linha de Pesquisa: Desenvolvimento do semiárido.

Orientadora: D.Sc. Sylvana Melo dos Santos
Coorientador: D.Sc. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Caruaru - 2013

Catalogação na fonte:
Bibliotecário: Aécio Oberdam - CRB-4: 1895

S586a Silva, Valdemir Ferreira da.
Avaliação da qualidade da água em barragem subterrânea no semiárido / Valdemir Ferreira da Silva - Caruaru: O Autor, 2013.
85f. ; il.; 30 cm.

Orientador: Sylvana Melo dos Santos
Dissertação – Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Núcleo de tecnologia, Programa de pós -graduação em Engenharia Civil e ambiental, PPGECAM, 2013.
Inclui referências.

1. Barragens subterrâneas. 2. Salinidade. 3. Irrigação. I. Santos, Sylvana Melo dos (Orientador). II. Título.

628 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2013-132)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

A comissão examinadora da Defesa de Dissertação de Mestrado

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM BARRAGEM SUBTERRÂNEA NO SEMIÁRIDO

Defendida por

VALDEMIR FERREIRA DA SILVA

Considera o candidato APROVADO

Caruaru, 22 de agosto de 2013

_____

SYLVANA MELO DOS SANTOS – PPGECAM/UFPE
(presidente da banca examinadora)

_____

SUZANA MARIA GICO LIMA MONTENEGRO – DECIV/UFPE
(examinador externo)

_____

VAJAPEYAM SRIRANGANCHAR SRINIVASAN – PPGECAM/UFPE
(examinador interno)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos amigos, professores, familiares, funcionários da UFPE e principalmente à sociedade de modo geral.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos.
Especialmente...
Aos meus familiares por terem apoiado minhas decisões
Aos meus amigos que compartilharam bons momentos e dividiram comigo a responsabilidade de suportar o momento de desânimo no decorrer do curso.
À minha orientadora Professora Doutora Sylvana Melo dos Santos que sempre esteve disposta a ajudar. Não mediu esforços. Fez muito para que esse trabalho se realizasse. Ajudou o máximo que pode, tanto até, que trabalhou além do que deveria.
Ao meu Co-Orientador Professor Doutor Anderson Luiz Ribeiro de Paiva que acompanhou de perto a desenvolver do trabalho. Sua forma dinâmica contribuiu não só na parte acadêmica, mas também, nas soluções para realização das atividades de campo.
ÀCoordenação de Aperf eiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa de pós - graduação no nível de Mestrado Acadêmico.
Às professoras Érika Marinho e Sávia Gavazza, coordenadoras do Laboratório de Química e do Laboratório de Engenharia Ambiental do Centro Acadêmico d o Agreste respectivamente, pelo suporte proporcionado para realização de análises.
À professora Doutora Odete Mariano a qual não tive a honra de trabalhar no trabalho de dissertação mas contribuiu também de forma muito significativa apresentando -me a sala de aula como supervisora do estágio docência. Sempre foi prestativa e me deu suporte para desenvolver meu trabalho.
À professora Suzana Maria Gico Lima Montenegro e ao Prof . Vajapeyam Sriranganchar Srinivasan por aceitarem o convite para fazerem parte da banca examinadora, dedicação contribuição e ao nosso trabalho.
Ao Técnico do Laboratório de Recursos Hídricos e amigo Gilles que me ajudou massivamente. Se dispôs a ir ajudar na realização *in loco* e *in situ*. Sempre disposto a ensinar e aprender Ideias e uma boa conversa não faltaram.
Ao Luis, técnico do LEA pelo comprometimento, disponibilidade de tempo e ajuda nas análises de laboratório realizadas.
Aos professores do PPECAM que se dispuseram a passar conhecimento. Ficou claro o esforço de cada um deles. Mesmo tendo preferência por áreas e disciplinas específicas não posso negar a qualidade de todos eles.
Ao Samuel e demais técnicos do PPECAM uma das pessoa mais prestativas que já conheci. Sempre pronto pra ajudar. Ajudar a troco de nada. O simples obrigado pra ele já é o suficiente.
Ao pessoal e amigos da limpeza responsáveis pelo ambiente que compartilhamos, sem eles seria praticamente impossível mantermos a ordem das coisas e a funcionalidade do *campus*.
A todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

A região semiárida do Estado de Pernambuco é caracterizada por baixa intensidade pluviométrica e elevadas taxas de evapotranspiração. Nesse contexto, a reserva de água em barragem subterrânea torna possível a prática da agricultura familiar irrigada e a criação de animais com finalidade comercial. Todavia, a água desse corpo hídrico, principalmente após muito tempo de construção e submetida a constantes períodos de estiagem, pode apresentar elevada concentração de sais, o que pode reduzir a produtividade das culturas, salinizar e sodificar o solo tornando-se imprópria para uso na irrigação ou para consumo animal. Por isso, esse trabalho objetivou avaliar as características físico-químicas da água armazenada em uma barragem subterrânea e comparar os valores obtidos com referências científicas para avaliação das possibilidades de uso da mesma. Foram realizadas visitas mensais à referida barragem com determinação *in loco* de parâmetros de qualidade d'água água e coleta de amo stras de água de três poços, e de solo a diferentes profundidades, durante o período de estiagem, entre os meses de outubro de 2012 e abril de 2013. Os parâmetros investigados foram: condutividade elétrica da água e do extrato de solo, temperatura da água, pH, sólidos dissolvidos totais, salinidade, sódio, cálcio, magnésio para determinação da razão de adsorção de sódio. Segundo os resultados obtidos, a água da barragem subterrânea estudada, ao se aplicar a metodologia de Richards (1954), foi classificada como de classe C4S1, ou seja, com muito alto risco de salinidade e baixo risco de sodicidade. Nesta condição pode provocar redução de produtividade nas culturas de milho e feijão acima de 25 e 50%, respectivamente. Ao se analisar a possibilidade de cultivo de outras culturas, identificou-se que a beterraba e o tomate podem ser utilizadas na região com perdas de produtividades menores que outras culturas analisadas, como cebola, cenoura, repolho. Por outro lado, segundo a classificação de água para a dessed entação animal em função dos sólidos totais dissolvidos, a água da barragem encontra -se, não apenas, dentro dos limites aceitáveis para as principais espécies criadas na região como também foi classificada como de boa qualidade (< 2.500 mg/L de sólidos to tais dissolvidos) para consumo bovino, que é a principal renda da propriedade.

Palavras-chave: Salinidade. Barragem Subterrânea. Irrigação.

ABSTRACT

Semiarid region of Pernambuco State is characterized by low intensity level of rainfall and high evapotranspiration rates. In this context, the water reserves in underground dam makes possible the practice of family farming and irrigated livestock for commercial purposes. However, the water from this dam, especially after a along time of built and subjected to constant dry periods, can have a high concentration of salts which can reduce crop yields, concentration of the salts and sodium in the soil besides becoming unfit for irrigation use or for consumption animal. Therefore, this work aimed evaluates the physical-chemical characteristics of water from an underground dam as well as compares the values obtained with scientific references for evaluation of possibilities of its use. It were performed monthly visits to this underground dam to determination in situ of water quality parameters and water samples from three wells were collected, and soil samples from different depth, in the dry season, between the months of October 2012 and April 2013. The parameters analyzed were: electrical conductivity of water and soil extract, temperature, pH, total dissolved solids, salinity, sodium, calcium and magnesium for sodium adsorption ratio determination. According to the results, after applied the methodology of Richards (1954), the water from underground dam was classified as class C4S1, in other words, with very high risk of salinity and low risk sodicity. This condition can lead to reduction of productivity in corn and beans above 25 and 50% respectively. When analyzing the possibility of growing other crops, it was identified that the beets and tomatoes can be used in the region with smaller losses than other crops analyzed, such as onions, carrots, cabbage yields. Moreover, according to the classification of water for watering animals as a function of total dissolved solids, water from underground dam is not just within the acceptable limits for the main species created in the area as well was ranked good quality (< 2,500 mg/L of total dissolved solids) for beef consumption, which is the main income of the property.

Keywords: Salinity. Underground Dam. Irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modelo esquemático do fluxo e transporte de sais em aluviões irrigados. 22
Figura 2 - Esquemas de barragens subterrâneas. 24
Figura 3 - Esquema de barragem subterrânea, Modelo COSTA & MELO. 24
Figura 4 - Disponibilidade de nutrientes em função do pH da solução do solo. 28
Figura 5 - Diagrama para classificação de águas para irrigação. 36
Figura 6 - Localização do campo experimental, Belo Jardim – PE. 42
Figura 7 - Localização das barragens subterrâneas no Estado de Pernambuco. 43
Figura 8 - Poços localizados na barragem subterrânea Cafundó II. 45
Figura 9 - Esquema da barragem subterrânea estudada com localização dos poços. 46
Figura 10 - Amostragem de solo na Barragem Cafundó II. 48
Figura 11 - Sonda multiparâmetro. 49
Figura 12 - Precipitação mensal acumulada (em mm) - de outubro de 2012 a abril de 2013. 53
Figura 13 - Poço localizado na barragem subterrânea no início e no fim do período estudado. 54
Figura 14 - Valores de temperatura (ºC) da água (mínimo, médio e máximo) para cada poço. 55
Figura 15 - Valores de pH da água (mínimo, médio e máximo) para cada poço. 57
Figura 16 - Valores de CE (dS/m) da água (mínimo, médio e máximo) para cada poço. 58
Figura 17 - Valores de SDT (mg/L) da água (mínimo, médio e máximo) para cada poço. 59
Figura 18 - Valores de salinidade (PSU) da água (mínimo, médio e máximo) para cada poço. 61
Figura 19 - Valores da Razão de Adsorção de Sódio (mínimo, médio e máximo) para cada poço. 63

LISTA DE QUADRO E DE TABELAS

Quadro 1 - Componentes de uma barragem subterrânea. 23
Tabela 1 - Classificação dos solos salinos e alcalinos. 19
Tabela 2 - Limites de classificação da á gua para irrigação. 35
Tabela 3 - Significado e interpretação das classes consideradas no diagrama de Richards (1954). 38
Tabela 4 - Limites de tolerância a sais em relação a SDT na água destinada a dessedentação animal. 39
Tabela 5 - Classificação das águas para dessedentaçã o do gado. 39
Tabela 6 - Perda de produtividade devido à salinidade da água utilizada para irrigação. 41
Tabela 7 - Valores limites de CE do extrato saturado do solo. 41
Tabela 8 - Precisão dos parâmetros determinados com a sonda multiparâmetro. 49
Tabela 9 - Dados de cada coleta e resultados do Teste de Tukey referentes à temperatura (ºC). 56
Tabela 10 - Dados de cada coleta e resultados do Teste de Tukey referentes ao pH. 57
Tabela 11 - Dados de cada coleta e resultados do Teste de Tukey referentes à CE (dS/m). 58
Tabela 12 - Dados de cada coleta e resultados do Teste de Tukey referentes ao SDT (mg/L). 60
Tabela 13 - Dados de cada coleta e resultados do Teste de Tukey referentes à salinidade (PSU) 61
Tabela 14 - Parâmetros usados na determinação do RAS. 62
Tabela 15 - Resultados da Razão de Adsorção de Sódio (RAS). 63
Tabela 16 - Classificação de águas para irrigação pela metodologia de Richards (1954). 65
Tabela 17 - Análise de pH e CE conforme limites do EMBRAPA (ALMEIDA, 2010). 66
Tabela 18 - Perda de produtividade para teores de CE conforme Ayres & Westcot (1985). 69
Tabela 19 - Limites dos teores de CE do extrato de solo conforme Dias & Blanco (2010). 71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAA	Centro Acadêmico do Agreste
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CE	Condutividade Elétrica
CEe	Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo
CEw	Condutividade elétrica da água de irrigação
dS	deciSiemenes
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LEA	Laboratório de Engenharia Ambiental
Lim	Limite
Máx	Máximo
Mmhos	Millimhos
Mmolc	Milimol de carga
□mhos	micromhos
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação
ONG	Organização não governamental
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PE	Pernambuco
pH	Potencial hidrogeniônico
PSI	Percentagem de sódio intercambial
PSU	Unidade prática de salinidade
QMRes	Quadrado médio do resíduo
r	Número de repetições
RAS	Razão de adsorção de sódio
SDT	Sólidos dissolvidos totais
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Percentual
µS	Microsiemens
ºC	Graus Celsius
CO_2	Dióxido de Carbono
Ca++	Cálcio
g/m^3	Grama por metro cúbico
kg	Quilograma
km	Quilômetro
km²	Quilômetro quadrado
K2O	Potássio
L	Litro
min	Minuto
mm	Milímetros
m	Metro
m²	Metro quadrado
m/s	Metro por segundo
Mg++	Magnésio
N	Nitogênnio
Na+	Sódio
O2	Oxigênio
P2O5	Fósforo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 Relevância do tema 14
1.2 Objetivos 16
1.2.1Objetivo Geral 16
1.2.2 Objetivos Específicos 16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DA LITERATURA 17
2.1 Aproveitamento dos recursos hídricos nas regiões semiáridas brasileiras 17
2.1.1 Potencialidades hídricas e usos da água subterrânea 17
2.1.2 Formas de suprimento de água em comunidades rurais do semiárido 18
2.2 Características do solo para fins agrícolas 19
2.2.1 Natureza do solo e cultivo 21
2.2.2 Irrigação 22
2.3 Barragens subterrâneas 22
2.3.1 Detalhes construtivos e fluxo 22
2.3.2 Uso, vantagens e desvantagens das barragens subterrâneas 25
2.4 Parâmetros de identificação da qualidade da água para fins agrícolas 26
2.4.1 Temperatura 27
2.4.2 pH 27
2.4.3 Condutividade elétrica 29
2.4.4 Sólidos Dissolvidos Totais 30
2.4.5 Razão de Adsorção de Sódio 31
2.5 Análise do risco de salinização e sodificação 33
2.5.1 Classificação da água para fins de irrigação 34
2.5.1.1 Classificação em função da Condutividade Elétrica 35
2.5.1.2 Classificação em função da RAS 35
2.5.2 Classificação da água para dessedentação animal 39
2.5.3 Considerações sobre o uso da água com diferentes níveis de salinidade na agricultura 40
2.5.4 Considerações sobre a CE da solução do solo 41
3 MATERIAIS E MÉTODOS 42
3.1 Área de estudo 42
3.1.1 Localização 42
3.1.2 Geomorfologia e vegetação da região de Pesqueira 44
3.1.3 Precipitação e evapotranspiração 44
3.2 Descrição da barragem estudada 45
3.3 Obtenção d os dados pluviométricos 47
3.4 Coleta de solo 47
3.5 Obtenção dos parâmetros de qualidade 49
3.5.1 Determinações in loco 49
3.5.2 Determinações em laboratório 50
3.6 Tratamento estatístico dos dados 51
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 53
4.1 Precipitação mensal acumulada e nível d'água nos poços 53
4.2 Análises de qualidade de água 54
4.2.1 Temperatura 55
4.2.1.1 Dados obtidos com a sonda 55
4.2.1.2 Aplicação do teste de Tukey 55
4.2.2 pH 56
4.2.2.1 Dados obtidos com a sonda 56

4.2.2.2 Aplicação do teste de Tukey 57
4.2.3 Condutividade elétrica 58
4.2.3.1 Dados obtidos com a sonda 58
4.2.3.2 Aplicação do teste de Tukey 58
4.2.4 Sólidos Dissolvidos Totais 59
4.2.4.1 Dados obtidos com a sonda 59
4.2.4.2 Aplicação do teste de Tukey 60
4.2.5 Salinidade 61
4.2.5.1 Dados obtidos com a sonda 61
4.2.5.2 Aplicação do teste de Tukey 61
4.2.6 Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e risco de salinização 62
4.3 Classificação da água para fins de irrigação 64
4.3.1 Classificação em função da Condutividade Elétrica (CE) 64
4.3.2 Classificação em função da Razão de Adsorção de Sódio (RAS) 64
4.3.3 Comparação com os padrões recomendados pela EMBRAPA 65
4.4 Classificação da água para dessedentação animal 67
4.5 Proposição de uso da água 67
4.6 Condutividade elétrica da solução do solo 70
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 71
5.1 Conclusões 71
5.2 Recomendações 72
REFERÊNCIAS 73

1 INTRODUÇÃO

1.1 Relevância do tema

Historicamente, as civilizações têm se fixado próximas a mananciais hídricos com a finalidade de serem autossuficientes em abastecimento de água. Em contrapartida, muitas vezes, as fontes disponíveis são insuficientes em termos volumétricos, ou impróprias para a finalidade que se destinam. Esta situação é muito comum no nordeste brasileiro, e para minimização desta problemática, na segunda metade do século passado, houve um aceleramento na quantidade de implementações de técnicas de captação de águas subterrâneas no nordeste. Por outro lado, não se observaram registros que indicassem o mesmo empenho governamental para o acompanhamento sobre a utilização desse recurso no decorrer do tempo.

As regiões semiáridas ocupam uma área aproximada de 969.589,4 km^2 o que corresponde a 60% do nordeste brasileiro (MI, 2005). Essas áreas passam por frequentes períodos de seca que, quando associados a práticas antrópicas inadequadas como a utilização excessiva do solo, da água, e do extrativismo da cobertura vegetal pode potencializar processos erosivos que degradam as terras podendo, inclusive, resultar na desertificação. Dentro dessa realidade, as comunidades rurais, em sua grande maioria, realizam a agricultura de sequeiro. Este tipo de prática de cultivo é propenso à ocorrência de chuvas irregulares no tempo e no espaço e que pode causar prejuízos aos produtores familiares. Muitas vezes, esses prejuízos poderiam ser minimizados com tecnologias de captação de água das chuvas, bem como com o manejo adequado do solo, o controle de qualidade da água armazenada, a manutenção da cobertura vegetal do solo e da adubação orgânica.

De acordo com Melo *et al*. (2009), estudos realizados em Pernambuco apontaram que a tecnologia de captação de água da chuva, através de barragens subterrâneas, é uma das alternativas viáveis para o fornecimento de água ao consumo humano e animal e à produção de alimentos nas comunidades rurais. Por outro lado, segundo os autores, ainda se faz necessário realizar pesquisas que avaliem a sustentabilidade desses sistemas e a definição da forma de manejo e das opções de cultivo, como forma de subsidiar a exploração sustentável do sistema solo-água-planta. De acordo com Cirilo, Abreu & Costa (2003), a utilização de barragens subterrâneas no Estado da Paraíba permitiu a colheita de até duas safras por ano, o que é incomum de acontecer em regiões semiáridas em que se pratica a agricultura de sequeiro. Esse panorama mostra o quanto é importante intensificar a captação de água de chuva não só para reduzir os prejuízos por perdas de safra, como também, para elevar ainda mais a renda das comunidades rurais. Além disso, segundo Souza, Carneiro & Paulino (2005), associado ao

fator seca, os solos do semiárido, geralmente, apresentam baixos teores de matéria orgânica. Os autores afirmam ainda que o uso de adubo orgânico pode auxiliar os agricultores, uma vez que esse tipo de adubação pode manter a umidade do solo por um maior período, contribuir com a melhoria das características químicas, físicas e biológicas do solo e disponibilizar nutrientes às plantas.

De uma forma geral, as barragens subterrâneas, muitas vezes, por si só, propiciam boa condição de cultivo em solos, mas, além disso, trazem outras vantagens como reduzida perda por evaporação da água acumulada e a não ocupação das superfícies de áreas agricultáveis. Neste contexto, além das adversidades climáticas ambien tais das regiões semiáridas do nordeste brasileiro conhecidas por apresentar escassez de água, susceptibilidade ao processo de desertificação e sistemas superexplorados dos recursos naturais, segundo Almeida *et al.* (2006), a agricultura familiar é praticada de forma empírica, utilizando os escassos recursos hídricos existentes, subterrâneos ou superficiais, de forma degradante e tornando-os cada vez mais impróprios para utilização. Sendo assim, de acor do com os autores, com a agricultura familiar, intensificam-se os processos de contaminação do solo e da água por fatores como o acúmulo de sais, excesso de nutrientes oriundos de fertilizantes e uso indiscriminado de defensivos agrícolas (agrotóxicos). Além disso, em regiões semiáridas a irrigação requer um fornecimento de água na quantidade necessária para o desenvolvimento da planta além de um fluxo adicional de água capaz de diluir ou transportar os solutos no solo para evitar problemas ambientais.

Diante do cenário explicitado fica evidente a necessidade de estudos que possam gerar informações sobre o manejo adequado dos recursos hídricos e sua utilização, de forma a garantir a sustentabilidade de toda cadeia produtiva mesmo em períodos de estiagem. Neste contexto, este trabalho limita a avaliação da qualidade da água encontrada na barragem subterrânea ao período de estiagem quando, na maioria dos casos, nesta região, esta é a única fonte de água.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar as características fisico-químicas da água de uma barragem subterrânea em período de seis meses de estiagem, bem como aspectos relacionados com a salinização do manancial.

1.2.2 Objetivos específicos

i) Caracterizar a qualidade da água armazenada em uma barragem subterrânea, considerando parâmetros físico-químicos;
ii) Acompanhar a variação da concentração total de sais solúveis da água armazenada em uma barragem subterrânea;
iii) Identificar a adequação da água armazenada na barragem subterrânea para fins de irrigação e dessedentação animal ;
iv) Discutir os possíveis usos da água armazenada na barragem subterrânea: irrigação e dessedentação animal .

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓR ICA E REVISÃO DA LIT ERATURA

2.1 Aproveitamento dos recursos hídricos nas regiões semiáridas brasileiras

2.1.1 Potencialidades hídricas e usos da água subterrânea

De acordo com Schuster & Srinivasan (2004), o aproveitamento dos recursos hídricos nas regiões semiáridas do nordeste brasileiro é uma prática bastante complexa devido às peculiaridades climatológica e geológi ca da região, que se caracteriza pela baixa pluviosidade com irregular distribuição espacial e temporal além da composição geológica regional desfavorável à retenção de grandes volumes de água das chuvas. As irregularidades de distribuição das chuvas e os períodos prolongados de secas são os principais problemas da região semiárida em se tratando de potencial hídrico. Esse quadro afeta diretamente a população situada nessas áreas com graves situações econômicas e sociais. Mas não só a população é afetada, o alto índice de evaporação, muitas vezes apresentando balanço hídrico negativo, pode acelerar processos de salinização e reduzir a eficiência dos reservatórios superficiais, comumente usados para abastecimentos das cidades.

Quando se analisa o cenário rural, a situação pode ser ainda mais crítica, pois as propriedades rurais que normalmente recorrem aos mananciais superficiais nem sempre dispõem destes com água de boa qualidade e mesmo em quantidade suficiente. Assim sendo, os aquíferos aluviais que constituem importantes fontes de água de boa qualidade configuram como possível solução para suprir as necessidades da comunidade local. Neste contexto, os precursores da investigação sobre a avaliação de aquíferos aluviais surgiram nas décadas de 80 e 90 (COSTA, 1984; COSTA, 1986; MELO & LOPES, 1987; MONTEIRO, BIANCHI & FERREIRA FILHO, 1989; SCHUSTER, OLIVEIRA & KOCH, 1990), sendo que alguns se concentraram no estudo da potencialidade e da eficácia de barragens subterrâneas (UEHARA, 1981; HANSON & NILSSON, 1986; COSTA, 1987; CIRILO *et al.*, 1998). De acordo com Quilis *et al.* (2008), atualmente as barragens subterrâneas apresentam potencial para atender a necessidade de água de uma parcela da população que vive em áreas rurais do semiárido brasileiro, e vêm sendo construídas em diversas localidades do planeta na tentativa de acumular água nos períodos de chuva, viabilizando os cultivos de subsistência (agricultura familiar) nas regiões de clima árido e semiárido nos períodos de seca. Essa forma de armazenamento de água de chuva geralmente é construída em aluviões de rios e riachos intermitentes, de preferência quando o nível freático estiver baixo ou sem haver fluxo de água

subterrânea. Nesse caso, as precipitações na bacia hidrográfica resultam no represamento do escoamento subsuperficial e consequente elevação do nível piezométrico a montante da barragem.

Por outro lado, apesar do aumento de barragens subterrâneas construídas em todo o nordeste brasileiro e das novas tecnologias atualmente disponíveis, verifica-se uma grande carência de informações sobre o cálculo de reserva hídrica, a qualidade e a gestão da água armazenada. O Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2005) verific ou a existência de bacias sedimentares no nordeste, que, por terem sofrido subsidência, depressão e preenchimento por sedimentos, possuem aquíferos, com boa capacidade para armazenar e transmitir água, podendo ser explorados através de poços tubulares e amazonas. As regiões de melhor potencial hidrogeológico são aquelas que possuem grandes porções de rochas areníticas de elevada porosidade e capacidade armazenadora, proporcionando uma filtragem natural da água, melhorando, consequentemente, suas características. Além das barragens subterrâneas, poços tubulares, cacimbas e fontes naturais são os tip os de captações subterrâneas de água mais utilizados no semiárido brasileiro.

2.1.2 Formas de suprimento de água em comunidades rurais do semiárido

De acordo com Cirilo, Montenegro & Campos (2010), o enfrentamento do problema da escassez de água de qualidade no semiárido não se deu através de uma solução única, sendo comum o emprego de infraestruturas hidráulicas isoladas e combinadas. Os autores destacam que a definição da infraestrutura adequada e da estratégia de ação ou de gestão deve buscar o aumento da disponibilidade pelo aumento da eficiência do uso e controle da demanda e do desperdício, notadamente no que se refere à irrigação. Neste contexto, as infraestruturas em questão podem ser agrupadas considerando o atendimento à demanda concentrada ou à rural difusa. Sobre esta última demanda, Cirilo, Montenegro & Campos (2010) relacionaram-na com uma dispersão espacial muito grande em que as soluções são específicas. As soluções apresentadas pelos autores foram: perfuração de poços, cisternas rurais, reaproveitamento/tratamento de águas servidas, e transporte de água a grande distância. Além dessas soluções, Cirilo, Montenegro & Campos (20 10) destacaram a construção de barragens subterrâneas.

2.2 Características do solo para fins agrícolas

2.2.1 Natureza do solo e cultivo

De acordo com Oliveira (2008), nas regiões áridas e semiáridas como no nordeste brasileiro, a precipitação não é suficiente para manter uma lavagem efetiva dos sais os quais se acumulam no solo, dando origem aos solos ditos salinos. O autor classificou resumidamente os solos com caráter salino, como aqueles com condutividade elétrica entre 4 e 7 dS m^{-1}, solos com caráter sálico têm condutividade elétrica maior que 7 dS m^{-1} e os outros que seriam solos não salinos. Daker (1988) relacionou os tipos de solos com os valores de condutividade elétrica, porcentagem de sódio intercambiável e pH, e com as técnicas indicadas para recuperação (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação dos solos salinos e alcalinos.

Denominação	Nome vulgar	CE (mmhos/cm)	PSI	pH	Recuperação
Salino	Álcalibranco	> 4,0	< 15,0	δ 8,5	Lixiviação dos sais
Salino-alcalino ou salino-sódico		> 4,0	> 15,0	Próximo de 8,5	Aplicação de corretivos e lixiviação
Alcalino ou Sódico	Álcalinegro	< 4,0	> 15,0	Em geral: 8,5-10,0	
Normais ou não-salinos		< 4,0	< 15,0	4,0 a 8,5	-

Legenda: CE = condutividade elétrica; PSI = porcentagem de sódio intercambiável.
Fonte: Daker (1988).

Oliveira (2008) afirmou que a recuperação de solos salinos requer a lavagem dos sais, o que só é possível se o solo for permeável, se o lençol freático estiver , ou possa ser rebaixado por drenagem, bem abaixo da zona de enraizamento, e não haja entrada descontrolada de sais. Logo, assim como afirmado pelo autor, considera-se que a classificação de solos também fornece indicações importantes que auxiliam no planejame nto do uso da terra.

De acordo com Macêdo, Sousa & Morrill (2007), o uso permanente de terras localizadas em regiões áridas e semiáridas, para fins agrícolas, depende fundamentalmente do controle de sais no solo. Os autores destacam os efeitos adversos relacionados às plantas devido à presença de sais solúveis: aumentam a pressão osmótica da solução do solo com consequente redução da água disponível; causam um desbalanceamento nutricional; o excesso de sódio pode deteriorar a estrutura do solo resultando nu ma menor penetração das raízes e restringindo o movimento de água e ar; e causam direta toxidez quando certos sais constituintes, tais como, cloretos, sódio e boro estão individualmente em excesso. A redução na disponibilidade da água e a associação da pre sença de sais na solução do solo com a queda na produtividade também foram destacados por Ayers & Westcot (1985).

Para que sejam evitadas essas perdas de produtividade, Damasceno *et al.* (2008) ressaltaram a necessidade de se realizar um manejo adequado das águas e exemplificou a situação com a aplicação de uma quantidade de água maior que a consumida pelas plantas, principalmente no período vegetativo, para que esse excesso de água carregue os sais a profundidades fora do alcance do sistema radicular, não afetando assim as culturas. Por outro lado, Paulino (2008) afirmou que a aplicação de maiores quantidades de água para lixiviar sais acumulados no solo pode elevar os riscos de elevação do nível freático, em condições de drenagem deficiente. Nestes casos, o autor recomenda que o controle da salinidade por meio de um manejo que garanta água necessária às culturas e à lixiviação dos sais dentro dos limites de tolerância das culturas. Os problemas da infiltração que envolvem a qualidade da água para irrigação ocorrem quando a taxa de infiltração é reduzida, ou seja, a água permanece na superfície do solo por longo período ou infiltra-se vagarosamente para suprir as necessidades das culturas. A taxa de infiltração da água no solo varia muito e é influenciada não só pela qualidade da água de irrigação mas também fatores do solo como estrutura, grau de compactação, teor de matéria orgânica e composição química.

No que se refere aos aspectos comerciais, Macêdo, Sousa & Morrill (2007) afirmaram que o crescimento e a produtividade das culturas dependem basicamente do manejo do solo, da água de irrigação e dos tratos culturais, como: uso de plantas menos sensíveis aos sais, rotação de culturas e correta colocação das sementes a fim de evitar os locais de alta concentração de sais no leito de plantio. Paulino (2008) destacou que altas concentrações de sais prejudicam a germinação das sementes, desenvolvimento vegetativo das espécies, a produtividade e podem resultar, inclusive, na morte das plantas no caso de elevados teores de sais na solução do solo, e assim com os autores já citados (AYERS & WESTCOT, 1985; MACÊDO, SOUSA & MORRILL, 2007), Paulino (2008) relacionou estes efeitos à dificuldade das culturas em retirem água suficiente da zona radicular provocando escassez de água nas plantas por tempo significativo.

De uma forma geral, os sais presentes na solução do solo têm origem na água de irrigação ou estão dissolvidos diretamente do solo. Neste contexto, além dessas, Macêdo, Sousa & Morrill (2007) citaram como fontes de sais solúveis dos solos agrícolas a água de drenagem proveniente de áreas irrigadas à montante e o lençol freático de pouca profundidade.

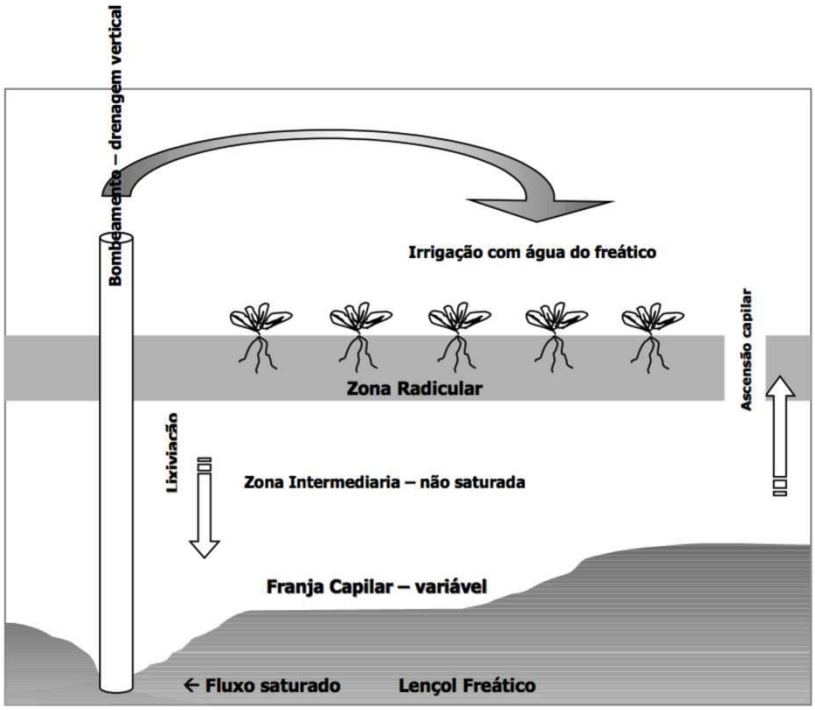
2.2.2 Irrigação

Conforme explicitado anteriormente, a irrigação tem um papel fundamental nas características da água e do solo, após algum período de sua realização. Neste contexto, a realização desta prática de forma inadequada pode causar impactos diversos ao meio ambiente, à qualidade do solo e da água. De acordo com Costa *et al.* (2005), entre os impactos negativos que podem resultar da realização da irrigação estão: modificação do meio ambiente, consumo exagerado da disponibilidade hídrica da região, contaminação dos recursos hídricos, salinização e degradação do solo, que, segundo MMA (1997) e Lima, Ferreira & Christofidis (1999), em graus elevados, pode levar à desertificação.

Segundo Macêdo, Sousa & Morrill (2007), a água de irrigação é o principal veículo de sais em áreas irrigadas. Rhoades (1974 *apud* MACÊDO, SOUSA & MORRILL, 2007) exemplificou que as águas de irrigação podem conter de 0,1 a 4,0 toneladas de sais por 1.000 m^3 e são, em geral, aplicadas à razão de 10.000 a 15.000 m^3 por hectare, anualmente. Consequentemente, cerca de 1 a 60 toneladas de sal por hectare poderão ser adicionadas aos solos irrigados por ano.

Para solucionar os problemas de salinidade, Damasceno *et al.* (2008) sugeriram que, sempre que a área de cultivo estiver fora da bacia hidráulica ou da área de recarga da barragem, existe a possibilidade, desde que o volume de água seja suficiente, de se aplicar uma lâmina de água maior que a necessidade das culturas. Com isso, segundo os autores, a água em excesso pode arrastar os sais a profundidades além do alcance do sistema radicular das plantas reduzindo, assim, sua concentração e melhorando a p rodutividade da lavoura. Segundo Gui (1987 *apud* BASTOS, 2004), o acúmulo excessivo de sais na zona não-saturada, devido à ascensão capilar, é denominado salinização secundária. As regiões saturadas de um perímetro onde os fluxos ascendentes predominam, conforme Salama *et al*. (1993 *apud* BASTOS, 2004), são conhecidas como regiões de descarga. De acordo com Bastos (2004), o ciclo progressivo de irrigação -lixiviação -bombeamento-irrigação , em áreas em que se realiza o bombeamento para irrigação, e de irrigação -lixiviação -ascensão, em áreas propensas a descargas, pode causar acúmulo de sais, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Modelo esquemático do fluxo e transporte de sais em aluviões irrigados.



Fonte: Bastos (2004).

2.3 Barragens subterrâneas

2.3.1 Detalhes construtivos e fluxo

A barragem subterrânea é uma obra simples que faz o barramento da água acumulada no subsolo de um aluvião, baixio de rio ou de riacho formado pela sedimentação do material transportado pelas águas. Apesar da sua simplicidade de construção, a barragem requer cuidados na construção, devendo -se observar principalmente a escavação da trincheira. (BRITO *et al.*, 1999; COSTA, 1997). Os componentes gerais de uma barragem subterrânea estão apresentados no Quadro 1.

A etapa anterior à construção da barragem é muito importante para que seu funcionamento seja adequado e, antes da abertura da vala, deve-se conhecer, através de sondagens, as características do aluvião, tais como: profundidade da camada aluvionar, profundidade da zona saturada e granulometria do material. Com estas informações pode -se dimensionar corretamente a largura, a profundidade e a extensão da trincheira. Segundo Lima *et al*. (2009), informações como espessura, porosidade efetiva, permeabilidade, variação lateral e vertical de fácies (de canal e da planície de inundação), além do gradiente do rio ou riacho são essenciais não apenas para instalação da barragem, mas principalmente para o cálculo da reserva hídrica e para gestão da água armazenada.

Neste contexto, a escolha do material para o septo deve levar em conta principalmente a disponibilidade do mesmo. O septo pode ser construído por material compactado (solo argiloso, solo-cimento ou solo-bentonita, com coeficiente de permeabilidade de no máximo 10^{-5}cm.s^{-1}), alvenaria de pedra, diafragma com lona plástica ou concreto.

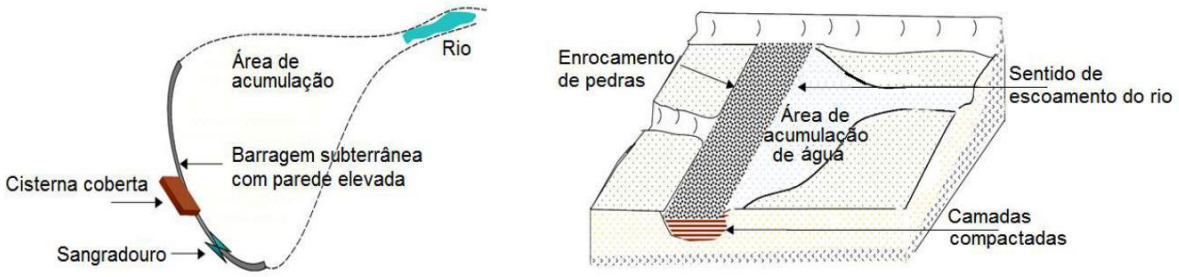
Quadro 1 – Componentes de uma barragem subterrânea.

Componente	Descrição
Área de captação	Bacia hidrológica delimitada por divisor de água topográfico e freático .
Área de plantio	Própria ba cia hidráulica da barragem.
Septo impermeável (lona ou concreto)	Barramento do fluxo de água ou parede da barragem, cuja função é interceptar o fluxo de água superficial e subterrâneo e com isso elevar o nível do lençol freático. No caso de septo de lona plástica, recomenda-se que a retroescavadeira deixe o ambiente da vala o mais limpo possível evitando a entrada de pessoas para realizar tal acabamento e a lona plástica de 200 micras deve ter a largura adequada à profundidade da vala, além de 0,5 m para repousar no fundo da vala e mais 1 m para repousar sobre o leito do riacho, utilizando-se pedras para sustentação da lona (AZEVEDO, NASCIMENTO & FURTADO, 2010). No caso de diafragma de concreto, este é utilizado em aluviões de grande espessura e que exijam grandes rebaixamentos do lençol freático.
Sangradouro	Tem a finalidade de permitir o controle do nível d´água na bacia de acumulação e assegurar a aeração adequada às plantas no per íodo de maior fluxo subterrâneo e a renovação da água no período das chuvas para evitar possível acumulação de sais.
Poço amazonas	São feitos comumente com anéis pré -moldados que variam de acordo com os fabricantes, porém é c omum encontrá-los com 1,5 m de diâmetro e 0,5 m de altura.

A classificação (ou diferenciação) dos modelos existentes de barragens subterrâneas no nordeste brasileiro está baseada na sua complexidade, nos custos de implementação e nos custos operacionais. Seguindo esses parâmetros, as barragens diferenciam-se nos modelos CPATSA, CAATINGA e COSTA & MELO (COSTA, 2004). O modelo CPATSA, Figura 2a, foi desenvolvido por pesquisadores do CPATSA (Centro de Pesquisa Agropecuária Trópico Semiárido) em conjunto com a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) no início dos anos 80. As etapas construtivas básicas desse modelo são: escavação em arco; elevação de parede a jusante da escavação; impermeabilização da escavação e da parede; construção do sangradouro em cimento alvenaria ou concreto; construção de cisterna coberta com telhado a jusante da barragem; construção de filtro de areia ou carvão na área escavada; e instalação da tubulação através do filtro até a cisterna (COSTA, 2004). O modelo CAATINGA, Figura 2b, foi desenvolvido pela ONG CAATINGA, que atua no semiárido pernambucano, construindo obras hídricas rudimentares para uso dos agricultores. As etapas construtivas deste modelo consistem basicamente de: escavação de trincheira linear; preenchimento e compactação da trincheira com o material retirado , e enrocamento de pedras sem rejunte sobre a trincheira compactada (COSTA, 2004).

Figura 2 – Esquemas de barragens subterrâneas.

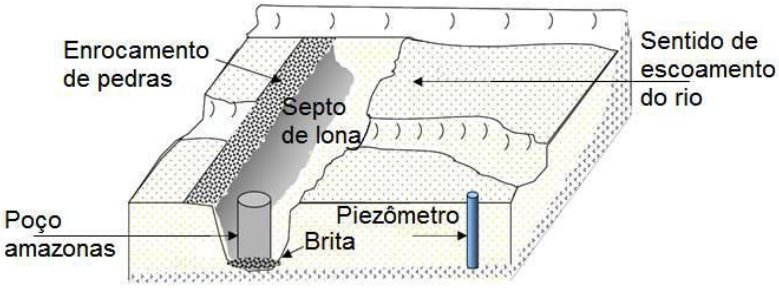
(a) Modelo CPATSA. (b) Modelo Caatinga.



Fonte: Costa (2004).

O modelo COSTA & MELO, Figura 3, foi desenvolvido no início dos anos 80 e foi sendo moldado com o passar do tempo visando a adequação à s condições locais do semiárido.

Figura 3 – Esquema de barragem subterrânea, Modelo COSTA & MELO.



Fonte: Costa (2004).

Os idealizadores dessa barragem, Waldir D. COSTA e Pedro G. MELO, dão nome ao modelo, e as etapas construtivas básicas do mesmo são: escavação de trincheira (retilínea perpendicular à direção do escoamento do riacho); colocação de septo impermeável ao longo da trincheira; construção de, pelo menos, um poço amazonas a montante próximo ao septo impermeável; construção de enrocamento de pedras arrumadas na superfície sem a aplicação de rejunte, sendo que as pedras devem ser colocadas próximas ao septo (mais precisamente à jusante); e instalação de, pelo menos, um piezômetro na bacia hidráulica da barragem (COSTA, 2004). De uma forma geral, esta técnica de construção de barragem subterrânea não se adequa a todas as condições locais do semiárido , e as áreas ideais devem apresentar características de relevo e clima aceitáveis, conforme detalhado por Azevedo, Nascimento & Furtado (2010). Apesar da simplicidade representada pela construção desse tipo de barragem, os condicionantes listados abaixo, podem inviabilizar ou comprometer a quantidade ou a qualidade da água acumulada (COSTA, PUERARI & CASTRO, 2002).

a) Existência de um depósito aluvial arenoso, com espessura de pelo menos 2 m.

b) Predominância de material síltico-argiloso, que implica em elevada retenção de água e baixa condutividade hidráulica, com reduzida vazão nos poços que irão captar a água e reduzidos riscos de salinização com o tempo.

c) Existência de água no depósito aluvial, que não deve possuir um elevado teor salino, pois, mesmo com o bombeamento intensivo a mesma não irá melhorar sua qualidade, e tenderá a salinizar os solos que eventualmente venham a ser irrigados com a mesma.

d) Existência de uma considerável extensão de depósito aluvial a montante da seção a ser barrada, sob o risco de um barramento efetuado nas cabeceiras de um riacho, por exemplo, não ser alimentado por deficiência de drenagem superficial.

Comparando-se as três metodologias apresentadas, verifica-se que a barragem da CPATSA possui características que tornam-a menos popular: necessidade de pessoal especializado para sua construção e critérios construtivos que fazem desse mode lo o mais caro e de maior tempo para ser construído. O modelo apresentado pela CAATINGA, por sua vez, possui menores custos construtivos entre os modelos, armazena pequenos volumes de água e utiliza-se de mão de obra local e, por outro lado, são mais susce ptíveis ao processo de salinização, pois não tem incorporado à técnica o controle dos níveis de sais. Já o modelo de COSTA & MELO é de fácil e rápida execução, permite o monitoramento da qualidade da água com relação à salinização e o acompanhamento do nível de água ao longo do ano e, por outro lado, esse modelo requer condições naturais específicas para sua construção. Assim, faz-se absolutamente necessário a utilização de rigorosos critérios de locação onde será construída a barragem uma vez que este ponto é primordial para, junto com a potencialidade agrícola e perfil da comunidade, favorecer o bom funcionamento do sistema (AZEVEDO, NASCIMENTO & FURTADO, 2010).

2.3.2 Uso, vantagens e desvantagens das barragens subterrâneas

No que se refere ao uso da barragem subterrânea, independentemente do tipo a ser construído, é necessário planejar, além dos aspectos construtivos, o s tipos de culturas que se adequem às condições de cultivo do solo , bem como resistam às eventuais enxurradas e aos rebaixamentos do nível de água na ausência de irrigação. Neste sentido, é interessante observar as necessidades hídricas das culturas, sendo que a parte do terreno mais distante do barramento constitui o local mais indicado ao plantio de espécies com menores necessidades de água para completar o ciclo produtivo e, de forma análoga, aquelas com mais necessidades hídricas devem ser cultivadas nas proximidades do barramento.

Deve-se pensar ainda em boas práticas para proteção das barragens frente à ocorrência de enxurradas. Nestas ocasiões, para se evitar perda de solos e matéria orgânica recomenda-se fazer plantios em forma de “zig-zag” transversais ao sentido do fluxo da água no riacho diminuindo a velocidade do fluxo. Este procedimento ainda auxilia na infiltração de água e na sedimentação dos solos que eventualmente sejam carreados nas chuvas de grande intensidade. Em áreas menos sujeitas à inundação , durante as enxurradas é aconselhável o plantio de culturas renováveis próximas da barragem permitindo que estas usufruam da umidade disponível ao final do período chuvoso.

Com relação às vantagens, de acordo com Azevedo, Nascimento & Furtado (2010), as mesmas estão fundamentadas na reduzida perda de água por evaporação; no beneficiamento da área de cultivo devido à elevação do lençol freático e consequente possibilidade de fornecimento de irrigação às culturas em maior parte do ano; no menor custo de implementação e de manutenção quando comparado a outros sistemas tradicionais de acumulação de água; no quase nenhum risco de rompimento e nos eventuais problemas de perda de água durante o funcionamento do sistema, na facilidade de manutenção e de realização de reparos; nos reduzidos impactos ambientais quando comparados às barragens superficiais e na possibilidade do sistema integrar-se ao meio ambiente.

A principal desvantagem das barragens subterrâneas está associada ao risco de salinização da área de acumulação de água. Segundo Costa (1984), as causas dessa salinização estão intimamente associadas com a deposição de sais no solo pela e vaporação da água acumulada na superfície do terreno e através da irrigação. No entanto, desde longo tempo há controvérsias e há quem considere maior risco de salinização nos reservatórios de superfície que nas barragens subterrâneas.

2.4 Parâmetros de identificação da qualidade da água para fins agrícolas

Tanto a composição química da água como a solução do solo podem se r expressas pela Razão de Adsorção de Sódio (RAS). Além disso, de acordo com Costa *et al.* (2005), pode-se definir a qualidade da água, também, por suas características físicas, químicas ou biológicas, sendo que na sua avaliação , para irrigação , os parâmetros a serem analisados devem ser os físico-químicos. Os autores afirmaram que as águas que se destinam à irrigação devem ser avaliadas principalmente sob três aspectos, considerados importantes na determinação da qualidade agronômica das mesmas : salinidade, sodicidade e toxidade de íons.

A alta salinidade da água eleva sua infiltração no solo e, por outro lado, a água com baixa salinidade ou água com alto teor de sódio em relação ao de cálcio diminui a infiltração. Esses fatores podem ocorrer simultaneamente e desencadear problemas secundários como formação de crostas em canteiros, crescimento excessivo de plantas daninhas, distúrbios nutricionais e de afogamento da cultura, e apodrecimento das sementes (AYERS & WESTCOT, 1985).

No que se refere à toxicidade, de acordo com Holanda & Amorim (1997), esta corresponde ao efeito de alguns íons (cloreto, sódio e boro) sobre as plantas, que quando encontrados em concentrações elevadas podem causar danos às culturas, reduzindo sua produção. Bernardo (1995) afirmou que, além destes, deve -se avaliar também a concentração de bicarbonatos.

2.4.1 Temperatura

Independentemente do uso que se pretende destinar a água, a temperatura é um dos principais parâmetros para monitoramento de sua qualidade, pois as variações ocorridas neste parâmetro podem significar a ocorrência de reações físicas, químicas e biológicas. Neste contexto, Queiroz (2003) destacou que a temperatura da água influencia diretamente a cinética dos processos metabólicos oxidativos vitais, como a respiração; a solubilidade dos gases dissolvidos, como o oxigênio; a densidade da água que interfere na mistura e movimentos das massas de água e interage com todas as demais propriedades da água.

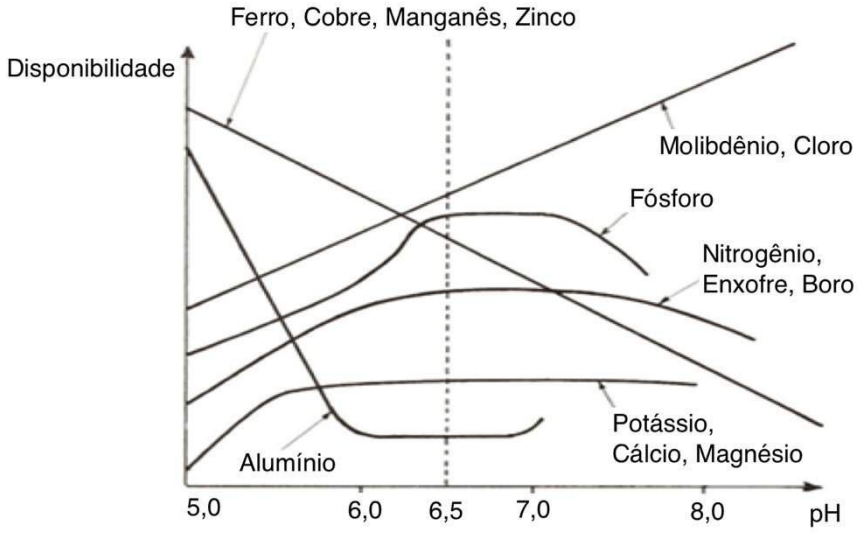
De acordo com Dantas (2009), deve-se considerar ainda que, com a elevação da temperatura, pode ocorrer elevação da toxidez devido ao aumento da dissolução de compostos tóxicos, quando estes estiverem presente s no meio.

2.4.2 pH

O pH, ou potencial hidrogeniônico, representa a concentração de íons hidrogênio H^+ resultante inicialmente da dissociação da própria molécula da água, podendo ser acrescido pelo hidrogênio proveniente de outras fontes. O pH é a medida da intensidade da acidez ou da basicidade da água ou a medida da concentração de íons de hidrogênio na solução. Esses valores são indicativos do poder solvente da água e são influenciados por processos biológicos como a fotossíntese, respiração, turbulênci a e aeração. De acordo com Malavolta, Vitti & Oliveira (1997), também ocorre variação nos valores de pH da água do solo a partir de descarga de efluentes na área de recarga do manancial.

No que se refere ao seu uso, de acordo com Farias (2012), os valores obtidos para este parâmetro podem limitar seu emprego na irrigação, uma vez que o pH interfere no crescimento da planta devido ao seu efeito na disponibilidade de nutrientes, em especial de microelementos (WALLER & WILSON, 1984; BAILEY, NELSON & FONTENO, 2000; HANDRECK & BLACK, 1999). De acordo com os esquemas comportamentais apresentados na Figura 4, o nitrogênio (N) é melhor aproveitado pela planta em solo com pH acima de 5,5, o fósforo (P_2O_5) tem melhor disponibilidade para as plantas em pH 6 a 6,5, e o potássio (K_2O) é melhor aproveitado em pH do solo maior que 5,5. De uma forma geral, observa-se que a disponibilidade máxima verifica-se na faixa de pH do solo entre 6 e 6,5 para depois diminuir.

Figura 4 – Disponibilidade de nutrientes em função do pH da solução do solo.



Fonte: Malavolta, Vitti & Oliveira (1997).

Além disso, diferentes valores de pH podem afetar atividades fisiológicas, como a germinação e o enraizamento da cobertura vegetal. De acordo com Ayers & Wescot (1991), a faixa de pH considerada normal para a água de irrigação está entre 6,5 e 8, 4, todavia, Nakayama (1982) afirmou que não existe restrição para águas com pH abaixo de 7, há restrição moderada para águas com pH entre 7 e 8 e há severa restrição para pH acima de 8, em relação à o bstrução de emissores para irrigação localizada. Segundo a publicação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a "Qualidade da água para irrigação" (ALMEIDA, 2010), o valor recomendado está entre 6 e 8,5.

A água de baixa salinidade pode apresentar valor de pH fora da faixa padrão, podendo, de acordo com Leal *et al*. (2009), essa acidez provocar desequilíbrios nutricionais para as culturas e corrosão de equipamentos usados nas práticas agrícolas. Os desequilíbrios nutricionais provocados ao solo pelo pH fora do padrão para a irrigação ocorrem de forma lenta, sendo, de acordo com Morais, Maia & Oliveira (1998), dessa forma, mais prático corrigir o pH do solo e não o da água. Além disso, de acordo com Hermes & Silva (2002), valores de pH tendem a ser mais altos quando ocorre a presença de carbonatos e bicarbonatos na água.

A faixa ideal de pH para o bom desenvolvimento das plantas é de 6,0 a 6,5 (MALAVOLTA, VITTI & OLIVEIRA, 1997). Por outro lado, algumas culturas requerem uma faixa ideal de pH do solo (solução do solo) para crescerem e produzirem grãos, folhas, forragens ou frutos de forma economicamente rentável. O tomate, por exemplo, requer uma faixa ideal entre 5,5 a 6,8; o feijão, 5,5 a 6,5; e o milho, 5,5 a 7,0.

2.4.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) expressa em números a capacidade da água conduzir a corrente elétrica. Por depender das concentrações iônicas e da temperatura é geralmente expressa à temperatura padrão de 25 ºC e, segundo Opoku-Duah, Kankam-Yeboah & Mensah (1997), os dados de CE indicam a quantidade de sais dissolvidos na forma de íons presentes na massa de água sem diferenciá-los entre si. Normalmente, a concentração desses íons nos mananciais é alterada devido às ações antropogênicas ou pela condição do ambiente. No que se refere à ação humana, estas alterações ocorrem principalmente pelas descargas industriais, residenciais e comerciais, e com relação à condição do ambiente, destaca-se a geologia local pela ocorrência de intemperismo das rochas que disponibilizam cátions e ânions à água. Neste contexto, estão comumente presentes na água os seguintes cátions:
sódio, cálcio, magnésio e potássio. Os ânions são essencialmente os cloretos, os sulfatos, os bicarbonatos, os carbonatos e os nitratos. De acordo com Nieweglowski (2006), altas concentrações de sais na água podem resultar em efeitos negativos sobre as comunidades ecológicas principalmente em períodos de níveis baixos dos mananciais.

Para fins de irrigação, a água que apresenta elevados valores de CE, de acordo com Delvio, Matsura & Testezlaf (2006), quando associado ao método de irrigação por aspersão, pode provocar leves queimaduras das folhas em culturas mais sensíveis aos sais, principalmente a altas temperaturas durante o dia. Segundo Farias (2012), o parâmetro condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas segundo Zuin, Ioriatti & Matheus (2009) pode ser um indicador importante de possíveis fontes poluidoras.

De acordo com Souza *et al*. (2013), para avaliação de solos afetados por sais , o conhecimento da composição da fase líquida, comumente denominada solução do solo, é de fundamental importância. Segundo o autor, dentre as técnicas desenvolvidas para extração da solução do solo encontrados na literatura, destacam -se os métodos do deslocamento (ELKHATIB *et al*., 1986 *apud* SOUZA *et al*., 2013), centrifugação (ADAMS *et al*., 1980 *apud* SOUZA *et al*., 2013; MIRANDA *et al*., 2006 *apud* SOUZA *et al*., 2013), pasta de saturação do solo (RICHARDS, 1954; SOUZA *et al*., 2012 *apud* SOUZA *et al*., 2013); cápsulas extratoras porosas (LAO *et al*., 2004 *apud* SOUZA *et al*., 2013; LIMA, 2009 *apud* SOUZA *et al*., 2013) e extratos aquosos em diferentes relações solo: água (RICHARDS, 1954; CHOWDHURY *et al*., 2011a,b *apud* SOUZA *et al*., 2013). Sobre isso, Fia *et al*. (2005) afirmaram que a quantificação da condutividade elétrica do extrato de saturação (CEe) tem sido a técnica mais usada e referenciada na literatura para caracterizar as condições de salinidade do solo sendo esta a forma em que se expressa a tolerância de diferentes culturas ao efeito da salinidade. Segundo os autores, a CEe pode ser estimada facilmente em suspensão de solo disperso em água, nas proporções 1:1, 1:2 ou 1:5 (CE1:1, CE1: 2 ou CE1:5) de acordo com a metodologia recomendada por Richards (1954). Os autores concluíram ainda que é possível estimar com relativa confiabilidade a CE do solo, medida na suspensão 1:2,5, a partir de dados obtidos no extrato saturado, conclusão também obtida por Mota *et al*. (2011). Esta proporção também foi utilizada por Morais *et al*. (2011).

Considerando a publicação da EMBRAPA sobre a “Qualidade da água para irrigação” (ALMEIDA, 2010), que faz recomendações aos limites de alguns parâmetros da água utilizada na irrigação, o valor máximo aceitável de condutividade elétrica é de 3 dS/m ou seja, 3.000 µS/cm.

2.4.4 Sólidos Dissolvidos Totais

Os sólidos diss olvidos totais (SDT) correspondem à quantidade da matéria dissolvida na massa de água. De acordo com Costa (1987), a alta concentração de SDT (em torno de 500 mg/L) limita o consumo da água tanto para uso doméstico quanto para irrigação. Segundo Nieweglowski (2006), os SDT têm origem, principalmente, nas atividades de agricultura, nas estações de tratamento de esgotos, nos esgotos não tratados, nos efluentes industriais tratados ou não e na mineração. No âmbito das aplicações agrícolas, como as culturas possuem diferentes necessidades fisiológicas, o comprometimento das mesmas devido à irrigação com água que apresenta elevada concentração de SDT é função da resistência destas à salinidade, bem como do clima, do método de irrigação e da textura do solo. Águas que apresentam elevado teor de SDT podem levar para o solo grande quantidade de sais via irrigação. Esses sais tendem a se acumular na zona radicular das plantas, e podem ser levados para camadas mais profundas do solo pelo processo de lixiviação. Por iss o é que

se faz necessário aplicar uma quantidade de água maior que a consumida pelas plantas, principalmente no período vegetativo, para que esse excesso de água possa carrear os sais a profundidades fora do alcance do sistema radicular, e assim não prejudicar a produtividade das culturas. Nessas circunstâncias a prática da drenagem é necessária para evitar a ascensão do lençol freático e consequentemente o acúmulo de sais na superfície do solo, durante o período de seca mais acentuado.

De acordo com a publicação da EMBRAPA sobre a "Qualidade da água para irrigação" (ALMEIDA, 2010), o valor máximo aceitável de sólidos dissolvidos totais é de 2.000 mg/L.

2.4.5 Razão de Adsorção de Sódio

A Razão de Adsorção de Sódio (RAS) é importante para determinar a presença do íon de sódio na água, sendo, de acordo com Fageria (1989), comumente empregada na avaliação de problemas de sódio causados ao solo justamente por também considerar a concentração do cálcio e do magnésio, indicando, assim, a possibilidade da água de irrigação provocar ou não a sodificação do solo, pela proporção do sódio em relação ao cálcio e magnésio. O conceito de RAS foi introduzido para classificar a água de irrigação pela primeira vez por Richards (1954) e, desde então, tem sido, cada vez mais, empregado na avaliação do risco de sodicidade para fins de classificação da água de irrigação. O índice RAS pode ser obtido pela equação proposta por Richards (1954), Equação 1.

$$RAS = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \qquad (1)$$

Onde:

Ca^{2+} é a concentração de cálcio na água de irrigação, e m $mmol_c\ L^{-1}$;

Mg^{+} é a concentração de magnésio na água de irrigação, em $mmol_c\ L^{-1}$;

Na é a concentração de sódio na água de irrigação, em $mmol_c\ L$.

O sódio é altamente solúvel em água e por isso, está presente em praticamente todo corpo hídrico podendo ser considerado um dos elementos mais abundantes na Terra. De acordo com Self (2010), o aumento das concentrações de sódio nos corpos hídricos ocorrem de forma natural ou são resultantes de descargas de esgotos e/ou de efluentes industriais. Níveis elevados de íons de sódio (Na^+) na água utilizada para irrigação podem promover a dissolução das partículas de argila, diminuindo a permeabilidade do solo. Consequentemente, tem-se a redução da aeração do solo e a inibição do desenvolvimento do sistema radicular d as plantas, podendo resultar na perda de produção. Segundo Delvio, Matsura & Testezlaf (2006), estas perdas estão associadas aos possíveis níveis tóxicos repassados às culturas, bem como à queimadura das folhas das plantas principalmente sobre sistema de irrigação por aspersão.

Além disso, de acordo com Queiroz *et al.* (2010), nos solos sódicos, a percolação de água é muito baixa e o controle da salinidade é o principal problema associado aos mesmos. Os autores informaram que, devido a terem baixa concentração de sais solúveis e valores de pH alto, os solos sódicos podem apresentar toxicidade direta para muitas culturas em decorrência da ação direta do sódio.

No que se refere às concentrações de cálcio e o magnésio na água, estas são bastante variáveis, de zero a centenas de mg/L, e normalmente estão relacionadas com as características geológicas da região, estando, segundo Fukuzawa (2008), associadas à ocorrência destes nas rochas das margens ou do fundo do manancial e resultantes de processos de intemperismo. O cálcio e o magnésio influenciam na dureza da água e depositam-se a elevadas temperaturas. Para fins de irrigação, o cálcio e o magnésio podem resultar na formação de um sólido durante a reação química com fertilizantes fosfatados deixando-os indisponíveis para as plantas e também, conforme Moura *et al.* (2011), obstruir tubulações (orifícios de passagem de água). Por outro lado, os autores afirmaram da atuação positiva do cálcio na estabilização dos agregados e da estrutura do solo.

Sobre o emprego do índice RAS, Pizarro (1985) fez algumas críticas:

- Supõe-se que o cálcio e o magnésio possuem a mesma seletividade de troca iônica, o que de fato não corresponde à realidade, uma vez que para uma mesma RAS a adsorção de sódio cresce com o aumento da relação M g/Ca devido à menor energia de adsorção do magnésio;
- Não se leva em conta a possibilidade de precipitação de sais, fenômeno que pode aumentar o risco de sodicidade, já que o cálcio é o cátion mais sujeito à reação, precipitando na forma de carbonato e sulfato, que são de baixa solubilidade; e
- A classificação tem um erro conceitual, pois, os sais da solução do solo têm um efeito

floculante, oposto ao efeito dispersante do sódio trocável, e, desta forma, para uma mesma RAS, o risco de sodicidade será menor quanto maior for o risco de salinidade.

Neste contexto, de acordo com Maia, Morais & Oliveira (1998), emprega-se o índice RAS corrigida (RASco) para avaliação do risco de sodicidade com mais segurança. De acordo com os autores, o emprego do RASco facilita o entendimento das alterações que ocorrem com o cálcio na água do solo através de reações com carbonatos e silicatos. Além disso, segundo Holanda & Amorim (1997), nas águas ricas em bicarbonatos há uma tendência de precipitação, principalmente do cálcio, em forma de carbonato, à medida que a solução do solo se torna mais concentrada, aumentando o risco de sodicidade, cujo efeito é corrigido com o uso da RASco. Oliveira & Maia (1998) citam ainda o emprego do índice RAS ajustada (RASaj), mas apesar de explicar que cada modalidade de cálculo tem como objetivo avaliar melhor o provável efeito do sódio existente na água em relação ao solo em que a mesma vai ser utilizada na irrigação, chama a atenção para a dificuldade no seu emprego pois os cálculos de valores de "ajuste" ou "correção" da RAS envolvem ábacos por vezes complexos a nível de trabalho de rotina em um laboratório.

2.5 Análise do risco de salinização e sodificação

O solo é um sistema complexo, constituído de materiais sólidos, líquidos e gasosos além de ser um reservatório natural de água para as plantas. No contexto das aplicações agrícolas, a parte líquida do solo é chamada de solução do solo, e, segundo Paulino (2008), contém minerais dissolvidos e materiais orgânicos solúveis.

A água armazenada no solo, como ocorre no caso das barragens subterrâneas, é produto da precipitação pluviométrica, ação da gravidade, responsável por fazer a água se mover dos pontos mais altos para os mais baixos do terreno, e infiltração da água que atinge os lençóis freáticos. Nesse percurso da água, desde a precipitação até o armazenamento, de acordo com Nieweglowski (2006), pode ocorrer contaminação da mesma e afetar sua qualidade. Neste contexto, Leal *et al*. (2009) destacaram algumas substâncias que podem ser encontradas dissolvidas na água: íons diversos como cálcio, magnésio, potássio, bicarbonatos, compostos orgânicos, resíduos de áreas urbanas e agrícolas (compostos orgânicos sintéticos como detergentes, agrotóxicos e solventes); e organismos que podem alterar sua co mposição pela produção e consumo de CO_2 e O_2 (algas), e pela alteração do pH, das concentrações de carbonato e de bicarbonato de cálcio. Logo, além das informações de natureza construtiva, também são importantes as informações geoquímicas da água que corre no rio durante o período de chuvas. Sobre isto, Lima *et al*. (2009) afirmaram que análises físico-químicas de qualidade da água são extremamente necessárias, pois a destinação do uso potencial da uma barragem subterrânea é determinada a partir da qualidade da água acumulada, podendo esta ser destinada para irrigação, dessedentação animal ou para consumo humano.

De acordo com Zoby (2008), o desenvolvimento da agricultura no Brasil, nas duas últimas décadas, está diretamente relacionado ao aumento da área cultivada e da produtividade, e este último fator está associado diretamente ao uso de fertilizantes e agrotóxicos. Neste contexto, o autor afirma que os três principais nutrientes exigidos pelas culturas são o nitrogênio (N), o potássio (K_2O) e o fósforo (P_2O_5), sendo dentre esses, o nitrogênio o que apresenta maior impacto sobre a água subterrânea, ocorrendo principalmente na forma de nitrato, que apresenta alta mobilidade neste manancial. Além disso, a água de uma barragem subterrânea não deve apresentar elevados índices de salinidade, que podem levar ao aumento na concentração de sais no solo prejudicando, assim, o desenvolvimento das culturas produzidas na área da barragem. Sobre isto, Zoby (2008) explicou que a salinidade limita a retirada de água pelas plantas devido à redução do potencial osmótico e, assim, do potencial total de água no solo, reduzindo a permeabilidade. Além disso, o excesso de sais na zona radicular afeta consideravelmente o desenvolvimento das culturas resultando em diminuição na tax a de respiração e no crescimento. Por outro lado, segundo Porto *et al.* (2004 *apud* ZOBY, 2008), elementos como cloreto, sódio e boro, quando se apresentam em altas concentrações, constituem elementos tóxicos às plantas e/ou podem causar desequilíbrios nutricionais nas mesmas. Assim sendo, constitui-se uma importante iniciativa, a coleta de amostras de água diretamente dos reservatórios de onde se retira água para irrigação e a quantificação de sua condutividade elétrica. Sobre a determinação dos parâmetros listados, alguns podem ser determinados *in loco* com o uso de sondas específicas e outros devem ser conduzidos ao laboratório para determinação com aparelhos específicos e em condições apropriadas.

2.5.1 Classificação da água para fins de irrigação

No que se refere ao uso para irrigação, a água pode ser avaliada qualitativamente em função da concentração de sais dissolvidos que a mesma apresente, uma vez que altos valores constituem condicionantes ao desenvolvimento das plantas, devido ao aumento de energia que precisa ser despendida para absorver água e nutrientes do solo, e ao ajustamento bioquímico para adaptação às condições do ambiente. Neste contexto, comumente se emprega como indicador a condutividade elétrica, que expressa a concentração de sais solúveis na água, a partir da correlação existente com os sólidos totais dissolvidos (SDT) e a razão de adsorção do sódio (RAS) que expressa a atividade relativa dos íons de sódio em reações de intercâmbio catiônico com o solo.

2.5.1.1 Classificação em função da Condutividade Elétrica

A classificação, em função principalmente da condutividade elétrica, é dividida em quatro classes de salinidade, conforme apresentado na Tabela 2: C1 (água de baixa salinidade), C2 (água de média salinidade), C3 (água de alta salinidade) e C4 (água de muito alta salinidade) (RICHARDS, 1954).

Tabela 2 – Limites de classificação da água para irrigação.

Metodologia	**Classe de salinidade por faixa de CE (dS/m)**			
	C1	**C2**	**C3**	**C4**
Richards (1954)	< 0,25	0,25 – 0,75	0,75 – 2,25	> 2,25
Risco de salinidade	Baixo	Médio	Alto	Muito alto

Legenda: CE = condutividade elétrica.

Conforme a adequação da água em uma das classes listadas, existe uma recomendação de uso no âmbito da agricultura, ou seja, quando a água é de baixa salinidade (C1), a mesma pode ser usada para irrigação da maioria das culturas, em quase todos os tipos de solos, com muito pouca probabilidade de que se desenvolvam problemas de salinidade. A água de média salinidade (C2) pode ser usada sempre e quando houver uma lixiviação moderada de sais, ou seja, em quase todos os casos é permitido o cultivo de plantas moderadamente tolerante aos sais, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade. No caso de água de alta salinidade (C3), estas não podem ser usadas em solo s com drenagem deficiente. Nestes casos, mesmo com drenagem adequada podem ser necessárias práticas especiais de controle da salinidade, devendo, portanto, ser utilizada na irrigação de espécies vegetais de alta tolerância aos sais. Os riscos apresentados por esta classe de água, C3, podem ser amenizados quando do emprego do método de irrigação localizada mantendo o solo continuamente úmido. Quando a água se encontra com salinidade muito alta (C4), não se recomenda seu uso rotineiramente para irrigação, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais. De qualquer forma, na sua ocorrência devem ser observadas as seguintes características: os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo ser aplicada água em excesso para se obter uma boa lixiviação de sais e, mesmo assim devem ser explorados com culturas altamente tolerantes aos sais.

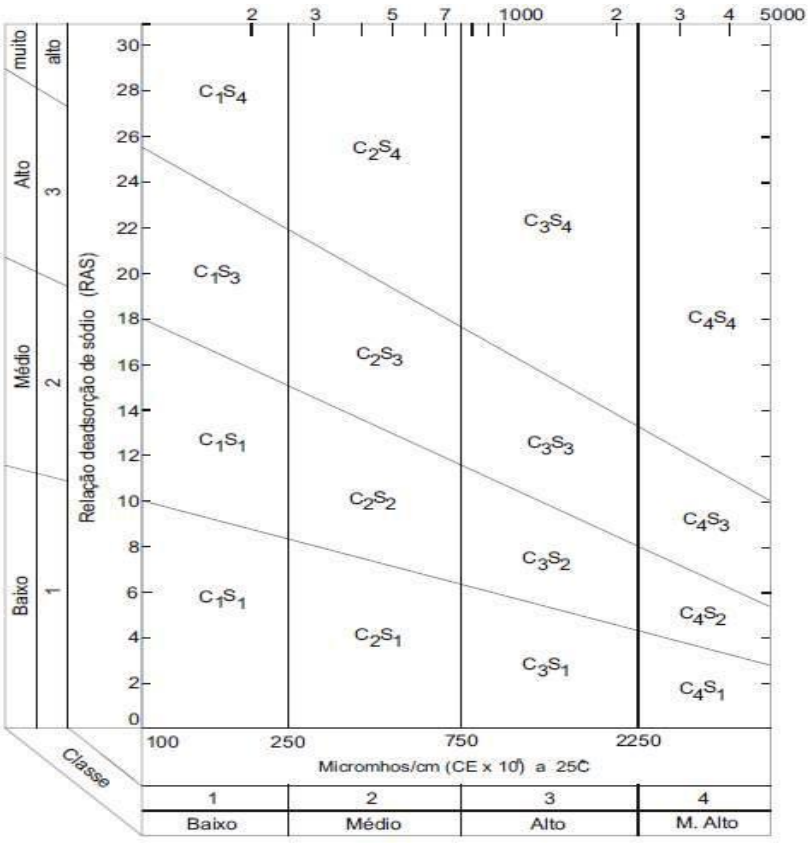
2.5.1.2 Classificação em função da RAS

A classificação em função da RAS é dividida também em 4 classes: S1(água com baixo teor de sódio), S2 (água com teor médio de sódio), S3 (água com alto teor de sódio) e S4 (água com teor muito alto de sódio). De acordo com essa classificação, quando a água é

classificada como de baixo teor de sódio (S1), pode ser usada para irrigação em quase todos os solos, com pouco perigo de desenvolvimento de problemas de sodificação. Quando classificada como de teor médio de sódio (S2), essa água só deve ser usada em solos de textura arenosa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade. As águas classificadas como de alto teor de sódio (S3) são capazes de produzir níveis tóxicos de sódio trocável na maioria dos tipos de solos, necessitando, assim, de práticas especiais de manejo como drenagem e aplicação de matéria orgânica. Por fim, águas com teor muito alto de sódio (S4) são, na maioria das vezes, inadequadas para irrigação, exceto quando a salinidade do solo for baixa e se realize práticas de manejo como aplicação de corretivos como o gesso.

Para avaliação do perigo de salinidade e de sodicidade da água de irrigação, toma-se como base os valores de RAS e de CE presentes. Assim sendo, para cada um dos parâmetros existem quatro possibilidades de classificação: baixo, médio, alto e muito alto. Da combinação da classificação de RAS e CE determina-se qualidade da água. De acordo com Aalison (1966 *apud* CORDEIRO, 2001), quanto maiores forem os valores de CE, necessitam-se menores valores de RAS para reduzir-se o perigo de sodificação. Neste trabalho tomou-se como base a classificação adotada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (RICHARDS, 1954), a qual apresenta um diagrama de classificação combinando os valores de RAS e de CE que juntas formam 16 possíveis classes de água. Essas classes variam de C1 a C4 e de S1 a S4 de acordo com o diagrama de classificação mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Diagrama para classificação de águas para irrigação.



Fonte: Richards (1954).

O significado e a interpretação das classes foram resumidos por Almeida (2010) e estão apresentados na Tabela 3.

A classificação para irrigação pressupõe o uso em condições médias com relação à textura do solo, velocidade de infiltração, condições de drenagem, quantidade de água usada, condições climáticas e finalmente a tolerância dos cultivos aos sais (RICHARDS, 1954). Mudanças significativas do valor médio de uma dessas condições pode tornar inseguro o uso da água que em condições médias seria de boa qualidade.

Tabela 3 – Significado e interpretação das classes consideradas no diagrama de Richards (1954) .

Classe	Significado	Faixa	Interpretação
C1	Baixa salinidade	0 δ CE δ 250 ∝S/cm a 25^{o}C	Pode ser usada para irrigação da maior parte dos cultivos, em quase todos os tipos de solos com pouca probabilidade de desenvolver salinidade. Necessita de alguma lixiviação em condições normais de irrigação, exceto em solos de muita baixa permeabilidade.
C2	Média salinidade	250 δ CE δ 750 ∝S/cm a 25^{o}C	Pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem necessidade de práticas especiais de controle de salinidade.
C3	Alta salinidade	750 δ CE δ 2.250 ∝S/cm a 25^{o}C	Não pode ser usada em solos cuja drenagem seja deficiente. Mesmo com drenagem adequada pode necessitar de práticas especiais de controle da salinidade, devendo, portanto, selecionar unicamente aquelas espécies vegetais muito tolerantes a sais.
C4	Muito alta salinidade	2.250 δ CE δ 5.000 ∝S/cm a 25^{o}C	Não é apropriada para irrigação, porém pode ser usada ocasionalmente em circunstâncias muito especiais. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo aplicar excesso de água para alcançar uma boa lixiviação; devem ser selecionados cultivos altamente tolerantes a sais.
S1	Baixo conteúdo de sódio	RAS δ 18,87 – 4,44 log CE	Pode ser usada para a irrigação na maioria dos solos com pouca probabilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável. Cultivos sensíveis, como fruteiras, podem acumular quantidades prejudiciais de sódio.
S2	Médio conteúdo de sódio	18,87 – 4,44 log CE < RAS δ 31,31 – 6,66 log CE	Em solos de textura fina o sódio representa um perigo considerável, mais ainda se ditos solos possuem uma alta capacidade de intercâmbio de cátions, especialmente em condições de lixiviação deficiente, a menos que o solo contenha gesso. Estas águas só podem ser usadas em solos com textura grossa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade.
S3	Alto conteúdo de sódio	31,31 – 6,66 log CE < RAS δ 43,75 – 8,87 log CE	Pode produzir níveis tóxicos de sódio trocável na maioria dos solos, que necessitarão de práticas especiais de manejo, boa drenagem, fácil lixiviação e aporte de matéria orgânica. Os solos com alto conteúdo de gesso podem não desenvolver níveis prejudiciais de sódio trocável quando irrigados com este tipo de água. Desde que economicamente viáveis, pode-se usar melhoradores químicos para substituir o sódio trocável.
S4	Muito alto conteúdo de sódio	RAS > 43,75– 8,87 log CE	É inadequada para irrigação, exceto quando sua salinidade é baixa ou média e quando a dissolução de cálcio do solo e a aplicação de gesso ou outros melhoradores não faz antieconômico o emprego desta classe de água.

Embora estes aspectos devam ser considerados quando se trata de classificação de água para irrigação, os esquemas de classificação estabelecidos para avaliação da qualidade da água são empíricos e baseados em algumas características químicas da água e fisiologia das plantas.

2.5.2 Classificação da água para dessedentação animal

Para dessedentação de animais os padrões de qualidade da água são bastante variáveis. Não há uma condição universal que sirva de modelo devido à diversidade das espécies de animais, variedade de raças, tamanho, sexo, além da influência exercida pelos diferentes climas regionais. Mesmo assim, existem, na literatura, limites tolerados por diferentes espécies de animais domesticados, como os valores apresentados por Laraque (1991 *apud* COSTA & CIRILO, 2010), Tabela 4, e especificamente pelo gado (LOGAN 1965 *apud* COSTA & CIRILO, 2010), Tabela 5.

O setor agropecuário no Agreste Pernambucano tem muitas quedas na participação econômica do estado, devido essencialmente aos períodos de seca que vitimam centenas de animais. Ainda assim, nesta região encontra-se a maior parte do rebanho de Pernambuco, seguido pelo sertão, sendo que o rebanho bovino encabeça a maioria da criação. Logo, pelo fato da criação de gado ser a principal atividade agropecuária desenvolvida na região de estudo, e fazer uso, unicamente da água da barragem subterrânea, considerou-se relevante a avaliação da qualidade da água para dessedentação animal.

Tabela 4 – Limites de tolerância a sais em relação a SDT na água destinada a dessedentação animal.

Animais	SDT (mg/L)
Aves	2860
Suínos	4220
Equinos	6435
Bovino (corte)	7180
Bovino (leite)	10000
Ovinos	12900

Fonte: Laraque (1991 *apud* COSTA & CIRILO, 2010).

Tabela 5 – Classificação das águas para dessedentação do gado.

Classe de água	SDT (mg/L)
Boa qualidade	< 2.500
Qualidade satisfatória	2.501 a 3.500
Baixa qualidade	3.501 a 4.500
Qualidade Insatisfatória	> 4.500

Fonte: Logan (1965 *apud* COSTA & CIRILO, 2010).

De acordo com Costa & Cirilo (2010), não existem padrões de qualidade da água muito rígidos, que sejam adotados universalmente para consumo animal. Os autores associam esta carência de padrão à diversidade das espécies de animais, variedade de raças, tamanho, sexo, além da influência exercida pelos diferentes climas regionais. Sendo assim, considerou-se aqui as classificações apresentadas por Laraque (1991 *apud* COSTA & CIRILO, 2010), Tabela 4, e por Logan (1965 *apud* COSTA & CIRILO, 2010), Tabela 5, ambas com base na concentração de sólidos totais dissolvidos (SDT).

2.5.3 Considerações sobre o uso da água com diferentes níveis de salinidade na agricultura

As culturas respondem diferentemente à salinidade, umas se desenvolvem a níveis aceitáveis mesmo com altos teores de sais na água de irrigação enquanto outras não conseguem se desenvolver a níveis relativamente baixos. De acordo com Ayres & Westcot (1991), esta diferença na capacidade adaptativa às condições do ambiente desenvolvidas pelas plantas pode servir como base para selecionar as culturas mais tolerantes e capazes de produzir rendimentos economicamente aceitáveis, quando não houver condições de manter a salinidade do solo ao nível de tolerância para que quaisquer espécies de plantas agricultáveis sejam cultivadas nele.

Neste contexto, Ayres & Westcot (1985) propuseram uma escala de perda de produtividade esperada por determinadas culturas devido à salinidade da água utilizada para irrigação com o emprego de métodos comuns de irrigação. Dos mais de 60 tipos de cultivos listados pelos autores, estão apresentadas na Tabela 6, os mais usuais na área de estudo (beterraba, tomate, repolho, cebola, cenoura e milho) e ainda feijão que, apesar de não ter sido citado no levantamento da região, já foi utilizado em localidades próximas.

Na Tabela 6, considera-se que a CE do extrato de saturação do solo (CEe Máx.) acontece quando a referida cultura retirar água do solo para atender sua demanda de evapotranspiração . De acordo com Ayres & Westcot (1985), nesta faixa de salinidade o crescimento da cultura cessa, com 100% de decréscimo da produtividade, devido ao efeito osmótico, e redução na disponibilidade hídrica da cultura para zero.

Tabela 6 – Perda de produtividade devido à salinidade da água utilizada para irrigação .

Cultura (Nome científico)	0%		10%		25%		50%		CEe Máx.
	CEe	CEw	CEe	CEw	CEe	CEw	CEe	CEw	
Beterraba (*Beta vulgaris*)	7,0	4,7	8,7	5,8	11,0	7,5	15,0	10,0	24,0
Cebola (*Allium cepa*)	1,2	0,8	1,8	1,2	2,8	1,8	4,3	2,9	7,5
Cenoura (*Daucus carota*)	1,0	0,7	1,7	1,1	2,8	1,9	4,6	3,1	8
Feijão (*Phaseolus vulgamis*)	1,0	0,7	1,5	1,0	2,3	1,5	3,6	2,4	6,5
Milho (*Zea mays*)	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0
Repolho (*Brassica oleracea capitata*)	1,8	1,2	2,8	1,9	4,4	2,9	7,0	4,6	12,0
Tomate (*Lycopersicon esculentum*)	2,5	1,7	3,5	2,3	5,0	3,4	7,6	5,0	12,5

Legenda: CEe = condutividade elétrica do extrato de saturação do solo em millimhos/cm a 25°C. CEw = condutividade elétrica da água de irrigação a 25 °C. Máx = máximo. Fonte: Ayres & Westcot (1985).

2.5.4 Considerações sobre a CE da solução do solo

De acordo com o trabalho publicado por Dias & Blanco (2010), existem valores limites de CE da solução do solo para os quais, acima deles, as culturas irão ter sua produtividade prejudicada. Segundo os autores, as plantas retiram a água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes superam as forças de retenção da água no solo. De acordo com Dias & Blanco (2010), a presença de sais na solução d o solo faz com que aumentem as forças de retenção por se u efeito osmótico podendo atingi r um nível em que as plantas não terão forças de sucção suficientes para superar a pressão osmótica. Nesta situação, segundo os autores, a planta não irá absorver água (seca fisiológica), e poderá até perder a água que se encontra no seu interior (plasmólise). Dias & Blanco (2010) propuseram valores limites de CE do extrato saturado do solo para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas. Dos mais de 70 tipos de cultivos listados pelos autores, estão apresentadas na Tabela 7, os mais usuais na área de estudo (beterraba, tomate, repolho, cebola, cenoura e milho) e ainda feijão.

Tabela 7 – Valores limites de CE do extrato saturado do solo.

Cultura (Nome científico)	Beterraba (*Beta vulgaris*)	Cebola (*Allium cepa*)	Cenoura (*Daucus carota*)	Feijão (*Phaseolus vulgamis*)	Milho (*Zea mays*)	Repolho (*Brassica oleracea capitata*)	Tomate (*Lycopersicon esculentum*)
CEe (dS/m)	4,0	1,2	1,0	1,0	1,7	1,8	2,5

Fonte: Dia & Blanco (2010).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O Estado de Pernambuco está dividido geograficamente em cinco regiões (Região Metropolitana do Recife, Zona da Mata, Agreste, Sertão e São Francisco) e cada uma dessas áreas possui características hidrológicas diferentes. Esta pesquisa foi realizada no campo experimental instalado pelo GRH/UFPE (Grupo de Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pernambuco), próximo à localidade de Mutuca (município de Pesqueira), entre os municípios de Belo Jardim e Jataúba (36º43'43'' - 36º24'17''; 8º16'55'' – 8º05'21'') (Figura 6), zona fisiográfica do Agreste Pernambucano.

Figura 6 – Localização do campo experimental, Belo Jardim – PE.

Fonte: Costa, Lima & Damasceno (2010).

3.1 Área de estudo

3.1.1 Localização

Essa região está localizada no município de Pesqueira agreste do Estado de Pernambuco, mais precisamente no vale do Riacho Mimoso, limite geográfico entre o distrito de Mutuca e parte dos municípios de Belo Jardim e Jataúba. Nessa região, é praticada a agricultura familiar, principalmente o policultivo irrigado de espécies olerículas como cenoura, beterraba, pimentão, repolho, cebola, tomate e milho. Essas culturas possuem curto ciclo vegetativo o que possibilita rápido retorno econômico. Para a irrigação, a água utilizada vem de poços do tipo Amazonas em aquífero aluvionar (ALMEIDA *et al.*, 2006). Até o ano de 1998, foram construídas, nessa região, 19 barragens subterrâneas a partir de uma parceria firmada entre o Ministério do Meio Ambiente e a Secretaria Estadual de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Pernambuco – SECTMA. O território de Mutuca possui solos

relativamente profundos os quais favoreceram a implementação das barragens subterrâneas. No entanto, de acordo com Almeida *et al.* (2006), a localização das barragens foi definida com base em critérios essencialmente geológicos. A localização das barragens subterrâneas implantadas no Estado de Pernambuco está apresentada na Figura 7.

Figura 7 – Localização das barragens subterrâneas no Estado de Pernambuco.

Fonte: SECTMA (1998).

Essas barragens possuem profundidades entre 3,8 e 10 metros e comprimento variando 30 a 110 metros, e de acordo com Costa (2002), a água acumulada nas mesmas é a principal fonte hídrica da região, o que reforça a importância de construções como essa no semiárido. Nesta pesquisa foi investigada uma barragem subterrânea, do modelo de COSTA & MELO (COSTA, 2004), ajustada às condições locais. De acordo com Costa (2004), esta construção adotou escavação em trincheira retilínea, perpendicular à direção de escoamento da água, e a contenção do fluxo foi realizada por um septo impermeável, no qual foi colocada uma lona plástica, apoiada mais superficialmente a montante e em jusante por pedras sem rejunte, o que possibilita o escoamento superficial da água sem comprometer a estrutura da barragem.

3.1.2 Geomorfologia e vegetação da região de Pesqueira

Segundo informações do CPRM (2005), a região Agreste está inserida na Província Borborema e é formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 m. De acordo com Silva & Silva (1997), na região semiárida do nordeste brasileiro, a ausência de práticas conservacionistas e a alta intensidade das chuvas que se concentram na fase de preparo dos solos, especialmente os rasos e com baixos teores de matéria orgânica, como os litólicos, intensificam, sobremaneira, os processos erosivos. Os autores destacam que as elevadas taxas de erosão que ocorrem têm provocado, ao longo dos anos, redução da área agricultável, baixa produtividade das culturas, assoreamento de rios e reservatórios, enchentes e danos às estradas, prejudicando o transporte dos insumos e a produção agrícola.

No que se refere à vegetação, a região estudada encontra-se em uma zona com predominância de caatinga hipoxerófila, formada por florestas subcaducifólica e caducifólica, a qual recobria a maior parte do território no período pré-colonial (SILVA, 2009). De acordo com Zanetti (1994 *apud* FARIAS, 2012), a caatinga sofreu alterações consideráveis que tiveram início com o processo de colonização do Brasil, inicialmente como consequência da pecuária bovina, associada a práticas agrícolas rudimentares, quando boa parte da cobertura original cedeu local para pastagens e áreas agrícolas, além do desmatamento para retirada de lenha para uso doméstico e industrial.

3.1.3 Precipitação e evapotranspiração

A área de estudo, pela classificação de Koeppen possui clima semiárido muito quente tipo estepe com precipitações e temperaturas médias anuais de 790 mm e 27ºC respectivamente. Esta microrregião, de acordo com Costa (2002), está sujeita a chuvas torrenciais e acentuada irregularidade no regime pluviométrico, com um período chuvoso de quatro a cinco meses de duração (mais precisamente de março a julho). O autor destaca ainda que, em termos de distribuição percentual, 75 a 80% da precipitação acontece no período chuvoso e apenas de 20 a 25% acontece no período seco.

De uma forma geral, em toda a região Agreste, o período de chuvas mais intensas vai de maio a julho, sendo os meses de setembro a dezembro os mais secos do ano. A precipitação acumulada observada no município de Pesqueira para o período analisado foi de 11 mm. Com relação à evapotranspiração, de acordo com informações do Laboratório de Meteorologia de Pernambuco – LAMEPE (2005 *apud* SANTOS, 2011), apresenta-se sempre superior à precipitação, em torno de 1250 mm a 1500 mm ao ano, sendo o período mais crítico de déficit hídrico compreendido entre os meses de agosto a dezembro. No que se refere à evapotranspiração, segundo Varejão-Silva *et al.* (1984 *apud* SILVA *et al*., 2012), a média anual de evapotranspiração potencial é de 1.480 mm.

3.2 Descrição da barragem estudada

A Barragem Cafundó II possui solo tipo litólico, vegetação característica de caatinga, e barramento com dimensões de 4,4 m de profundidade por 36 m de comprimento, o que possibilita um alcance médio de montante de 1.800 m. A bacia hidráulica da barragem é coberta em sua maioria por gramíneas endêmicas ou implantadas (capim elefante) para alimentação animal. Ao lado do barramento de lona há uma área de cultivo com aproximadamente um hectare no qual foram desenvolvidos cultivos sucessivos de beterraba, tomate, repolho, cebola, cenoura e milho. A água da irrigação dessas culturas é a precipitação que cai nessa área. Na propriedade onde encontra-se a barragem há uma pequena criação de animais. Entre os animais encontram-se aves, equinos e bovinos. As aves não são comercializadas, servem apenas para o consumo de ovos e carne. Os equinos são criados com a finalidade de realização de transporte e auxílio nas atividades de campo. A criação de gado tem finalidade comercial. A média diária de leite produzida pelas vacas e comercializado é de 80 L. Existem cinco piezômetros e três poços amazonas instalados na localidade (Figura 8). Dois poços são utilizados para dessedentação animal, sendo que em um deles (poço 1 – Figura 8a) os animais bebem-na diretamente no poço e no outro (poço 2 – Figura 8b) a água é canalizada e destinada a um local para uso do gado. O gado confinado é alimentado com capim irrigado cultivado sobre a bacia hidráulica da barragem.

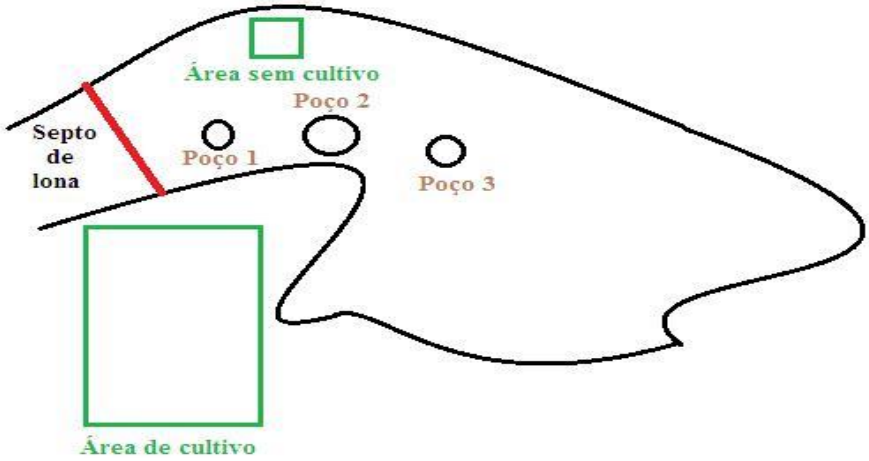
O estado de conservação dos poços é precário e os mesmos necessitam de limpeza, desentupimento e reforma de alvenaria. Os piezômetros encontram-se em bom estado de conservação, m as devido a voçoroca que se desenvolveu na área e atingiu o barramento da barragem associado ao rebaixamento do nível freático devido ao período de estiagem, esses piezômetros não apresentavam água.

Figura 8 – Poços localizados na barragem subterrânea Cafundó II.

(a) Poço 1. (b) Poço 2. (c) Poço 3.

No que se refere ao uso dado à água dos poços, no poço 1 a mesma é utilizada unicamente para dessedentação animal (*in loco*) e no caso do poço 2, é utilizada para o consumo doméstico, para dessedentação animal e, principalmente, para o cultivo irrigado. Com relação ao poço 3, Figura 8c, que possui sistema de bombeamento, a água do mesmo é utilizada para suprir apenas as necessidades do proprietário da terra onde o poço está instalado. O único utilizado para a agricultura comercial é o poço 2. Os poços estão distanciados a aproximadamente a 15 m, 30 m e 45 m de distância do barramento da barragem (a montante) (Figura 9). O método de irrigação utilizado é o de aspersão convencional e quando necessário se usa um método artesanal como regadores manuais e mangueiras.

Figura 9 - Esquema da barragem subterrânea estudada com localização dos poços.



3.3 Obtenção dos dados pluviométricos

Os dados pluviométricos utilizados foram obtidos do *website* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que mantêm um sistema de informações de dados ambientais atualizados em tempo real, com Plataformas de Coleta de Dados (PCD) implantadas em várias localidades. Os dados coletados foram obtidos da PCD instalada em Pesqueira e fornece as seguintes informações meteorológicas: temperatura do ar, temperatura máxima do ar (últimas 24 h), temperatura mínima do ar (últimas 24 h), umidade relativa do ar, radiação solar global acumulada e precipitação acumulada, sendo esta última a variável de maior interesse desta pesquisa.

O sensor de precipitação da PCD de Pesqueira compreende um pluviógrafo de báscula. Este tipo de equipamento consiste de um funil que recolhe a chuva e a encaminha para um sistema de básculas alternadas, em que quando a quantidade de chuva acumulada em uma báscula atinge 0,25 mm, o peso desta quantidade de líquido aciona um mecanismo que realiza o descarte da água acumulada e prepara a outra báscula para receber nova quantidade de líquido. A PCD fornece informações de precipitação acumulada mensal em períodos de 3 horas e os dados coletados foram armazenados e trabalhados em planilha eletrônica e utilizados para entendimento do comportamento do nível d'água nos poços.

3.4 Coleta de solo

O solo foi coletado em uma área amostral de 30 m x 50 m sobre a bacia hidráulica da barragem, onde foram realizados sucessivos plantios de cenoura, tomate, cebola, beterraba e por último milho. Foram coletadas amostras de solo em cinco pontos sobre a área de cultivo.

Para seleção do equipamento mais adequado para a retirada das amostras de solo, foram consideradas as recomendações apresentadas por Byrnes (1994 *apud* CETESB, 1999): profundidade a ser amostrada, substâncias a serem analisadas e tipo de amostra a ser coletada (indeformada ou não).

De acordo com USEPA (1989 *apud* CETESB, 1999), quando se pretende determinar a concentração média de uma substância específica na área investigada, são utilizadas amostras compostas e, dessa forma, a composição possibilita a coleta de um menor número de amostras a serem enviadas ao laboratório, diminuindo os custos de análise. Nesse caso, as amostras compostas proporcionam uma estimativa da média da população formada pelas "n" subamostras que a compõe. Similarmente, de acordo com o CETESB (1999), se a amostra composta é formada de amostras coletadas em diferentes partes da população, a variabilidade entre as partes, mas não a variabilidade dentro de cada uma, pode ser estimada.

De acordo com CETESB (1999), para amostragem de solos superficiais (até 1,50 m de profundidade) normalmente são empregados: pás e picaretas; trados de caneco, manuais ou

mecânicos; trado de rosca; trado holandês; e amostradores tubulares (barrilete – "tubo aberto", meia-cana, tubo fechado e tubo de parede fina).

Em todos os pontos foram coletadas amostras de solo em três profundidades 0-20; 20-40 e 40-60 cm. A escolha dessas profundidades foi baseada na profundidade de enraizamento das culturas e, consequentemente, influência maior da irrigação às camadas de solo mais próximas à superfície. Como os trados são mais indicados à coleta de amostras compostas em locais que não contenham substâncias orgânicas voláteis, uma vez que o movimento de rotação realizado em sua operação automaticamente homogeiniza as amostras, resultando na perda de substâncias voláteis, utilizou-se na coleta das amostras de solo desta pesquisa um trado de caneco (Figura 10).

Figura 10 - Amostragem de solo na Barragem Cafundó II.

(a) Retirada da amostra de solo *in loco*.

(b) Trado utilizado.

Definido o instrumento de coleta e os locais de amostragem, realizou-se o procedimento de amostragem conforme descrito por USEPA (1989 e 1991 *apud* CETESB, 1999) e Byrnes (1994 *apud* CETESB, 1999): montagem do trado; limpeza da área (para remoção de qualquer fragmento presente em superfície); colocação de uma folha de plástico com um furo de aproximadamente 30 cm, centrado com o ponto a ser amostrado; realização da tradagem, com o cuidado de remover o solo acumulado nas bordas do furo; remoção lenta e cuidadosa do trado do interior da sondagem quando o mesmo estiver cheio ou após atingir-se a profundidade desejada; coleta das amostras simples e identificação de cada uma delas.

Após a coleta de cada amostra foi realizada a limpeza dos equipamentos antes da realização da próxima amostragem. Ao final, todas as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes com capacidade para 2 litros de volume e transportadas ao laboratório todas juntas em saco plástico com capacidade para 200 litros.

3.5 Obtenção dos parâmetr os de qualidade

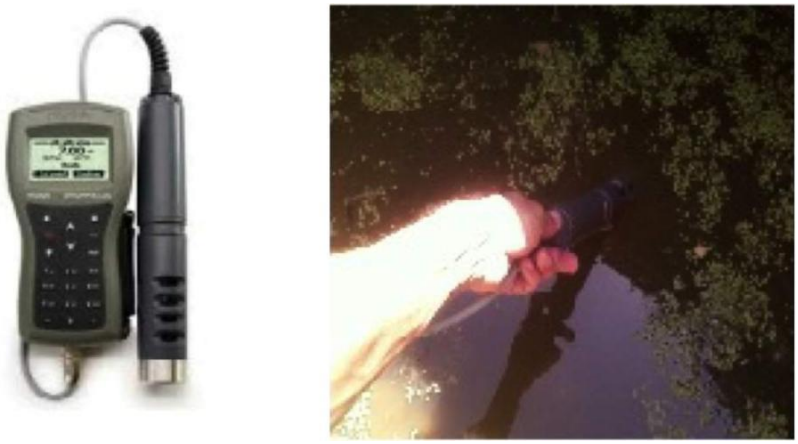
Foram determinados *in loco* e em laboratório alguns parâmetros de qualidade d'água.

3.5.1 Determinações in loco

Os dados *in loco* foram obtidos com o uso de uma sonda da marca HANNA modelo HI9828, Figura 11a, ajustada para registro contínuo dos dados enquanto submersa, Figura 11b.

Figura 11 – Sonda multiparâmetro.

(a) Sonda multiparâmetro. (b) Uso da sonda em campo.



Ao longo de seis meses foram obtidos dados de temperatura, pH, CE, SDT e salinidade. A precisão obtida pela sonda multiparâmetro modelo HI 9828 da *Hanna Instruments* para cada um dos parâmetros de qualidade d'água está indicada na Tabela 8. Os dados foram coletados mensalmente sempre no período diurno entre às 11:00 e às 12:00 h do dia.

Tabela 8 – Precisão dos parâmetros determinados com a sonda multiparâmetro.

Parâmetro	pH	Temperatura	Salinidade	SDT	CE
Unidade	-	^{0}C	PSU	mg/L	∝S/cm
Precisão	+/- 0,02	+/- 0,15	+/- 0,02	+/- 1	+/- 1

Legenda: SDT = sólidos dissolvidos totais. CE= condutividade elétrica.

A determinação destes parâmetros *in loco* foram feitas nas visitas, que se realizaram no período de estiagem, entre os meses de outubro e abril nas seguintes datas: 23 de outubro de 2012 (coleta 1), 22 novembro de 2012 (coleta 2), 19 de dezembro de 2012 (coleta 3), 24 de janeiro de 2013 (coleta 4), 28 fevereiro de 2013 (coleta 5), 03 abril de 2013 (coleta 6). Nestas visitas, após a realização da calibração das sondas, as mesmas eram imergidas nos poços, Figura 11b, por aproximadamente 1 minuto, e os dados, para cada um dos parâmetros citados,

eram coletados e armazenados no *datalogger* em intervalos de 1 segundo. Em seguida, estas informações eram armazenadas em planilhas eletrônicas, e tratadas estatisticamente.

3.5.2 Determinações em laboratório

A cada visita foram coletadas amostras de água, uma por poço, em recipientes com capacidade para 1L. Essas amostras foram armazenadas em refrigerador e mantidas à temperatura de 4ºC até o momento da análise. Visando aplicar o diagrama proposto por Richards (1954), Figura 5, para classificação d a água para fins de irrigação, realizou-se a determinação de cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg^{++}) e sódio (Na^{+}), bem como da condutividade elétrica (CE).

Neste contexto, entendendo-se que a dureza total corresponde à concentração total de cálcio e magnésio, expressa em termos de $CaCO_3$, utilizou-se a metodologia prevista na NBR 12.621 (ABNT, 1992) que prescreve o método de determinação da dureza em amostras de águas doce, salina, mineral e de mesa e de abastecimento, e em efluentes domésticos e industriais. A determinação da concentração de sódio, por sua vez, foi possível com o emprego da metodologia descrita na publicação da EMBRAPA que trata da "Qualidade da água de irrigação" (ALMEIDA, 2010).

Para determinação da dureza total foi empregado o método titulométrico do EDTA-Na (ABNT, 1992), em que o princípio da metodologia consiste na separação dos íons Ca^{++} e Mg^{++} com o uso de corante. Na referida norma explica-se que os íons Ca^{++} e Mg^{++} de uma determinada solução formam um complexo vermelho -vinho com o corante negro-de-eriocromo T, em pH = 10,0 ± 0,1 e, pela adição de EDTA -Na (*Ethylenediamine tetraacetic acid* ou ácido etilenodiamino tetra-acético) à solução colorida, ocorre formação de um complexo estável e não dissociado do EDTA -Na com os íons Ca^{++} e Mg^{++} e a separação prevista. A metodologia se encerra, ou seja, é o fim da titulação, quando a solução toma a cor azul, o que indica que todo o cálcio e o magnésio complexou com o EDTA -Na.

Com relação à determinação do sódio , esta foi possível com o emprego do fotômetro de chama. De acordo com Almeida (2010), esta técnica se baseia na determinação da intensidade da frequência de radiação emitido quando do retorno ao estado fundamental de energia dos átomos ou radicais, presentes em uma amostra de água, após a dissociação destes quando submetidos a um acendedor queimador. De acordo com as informações constantes no referido documento, amostras individuais de 0,584, 1,17 e 1,75 g de NaCl (dessecado em estufa a 110^{o}C durante duas horas) são pesadas e dissolvidas em aproximadamente 600 mL de água destilada e depois o quantitativo é completado até atingir um litro para cada uma delas, em frascos graduados. Após a calibração do equipamento, conforme descrito por Almeida

(2010), realizou-se a medição das amostras obtendo-se diretamente as concentrações de sódio nas mesmas unidades dos padrões.

Para determinação da CE, inicialmente foi obtida uma amostra de solo composta, transferindo-se as amostras de solo, separadas por faixa de profundidade, para uma bandeja para realizar a homogeneização. Com isso, foi gerada uma amostra composta formada a partir das cinco amostras simples para cada profundidade na área de cultivo. Em seguida utilizou-se a metodologia proposta por Richards (1954), que para avaliação de salinidade do solo em relação ao crescimento da planta, recomenda a determinação da CE do extrato de saturação .

A etapa seguinte consistiu na preparação de soluções de solo na proporção de 1:2,5 , em que foram pesadas amostras de 100 g de solo para 250 mL de água destilada, quando então as amostras foram homogeneizadas com um bastão de vidro durante 15 segundos a intervalos de 10 minutos com duas repetições. Em seguida, a suspensão foi deixada em repouso por 2 horas. Após o repouso a leitura foi realizada diretamente no sobrenadante das amostras com auxílio de um condutivímetro digital da marca WTW, modelo 315i.

3.6 Tratamento estatístico dos dados

De uma forma geral, quando se tem apenas dois tratamentos, no âmbito da análise de variância de um experimento, pode-se visualizar apenas pela média qual o melhor tratamento. Porém, na existência de mais de dois tratamentos, fazendo-se apenas o teste de “F” (teste que mostra se existe diferença entre as médias dos tratamentos) não é possível indicar qual o melhor tratamento. Faz-se necessário, portanto, aplicar um teste de comparação de médias dos tratamentos, sendo possível, a partir deste, concluir qual o melhor tratamento. Assim sendo, os testes de comparação de média constituem um complemento para o estudo da análise de variância e existem vários testes de comparação de médias, como o teste de Tukey, o teste de Duncan, o teste de Scheffé, o teste de Dunnet e o teste de Bonferroni. De acordo com Bertoldo *et al*. (2007), dependendo do objetivo do experimento, alguns testes estatísticos podem ser mais eficazes do que outros. Considerando-se que os dados obtidos das análises são classificados como qualitativos não-estruturados, que, segundo Chew (1976 *apud* BERTOLDO *et al*., 2007) apresentam como objetivo comparações entre todos os níveis do fator experimental, ou seja, todos contra todos, de acordo com Bertoldo *et al*. (2007), nestas condições, o teste mais eficaz é o teste de Tukey.

São características do teste de Tukey: não permite comparar grupos de tratamentos entre si; é utilizado para testar toda e qualquer diferença entre duas médias de tratamento; e é aplicado quando o teste “F” para tratamentos da análise de variância for significativo. O teste de Tukey é um dos testes de comparação de média mais utilizados, por ser bastante rigoroso e

fácil aplicação, e tem como base a DMS (diferença mínima significativa), representada no geral por Δ e calculada pela Equação 2.

$$(\alpha) = q\alpha\sqrt{\frac{Q.M.\ \mathrm{Re}\ s}{r}} \qquad (2)$$

Onde:

q é a amplitude total estudentizada;

$\sqrt{Q.M.\ \mathrm{Re}\ s}$ é p desvio padrão residual do ensaio;

r é o número de repetições das médias confrontadas no contraste.

De uma forma geral, e em termos práticos, pode-se descrever sucintamente a metodologia como a aplicação da seguinte sequência: ordena -se as médias, calcula-se as diferenças entre todas as médias , compara-se as diferenças com a DMS sendo que se o módulo da diferença é menor que a DMS considera-se que não há diferença significativa , e caso contrário, as médias dos tratamentos são diferentes. Indica-se, então, a significância entre dois tratamentos atribuindo letras diferentes para ambos, e a igualdade entre eles atribuindo a mesma letra para ambos.

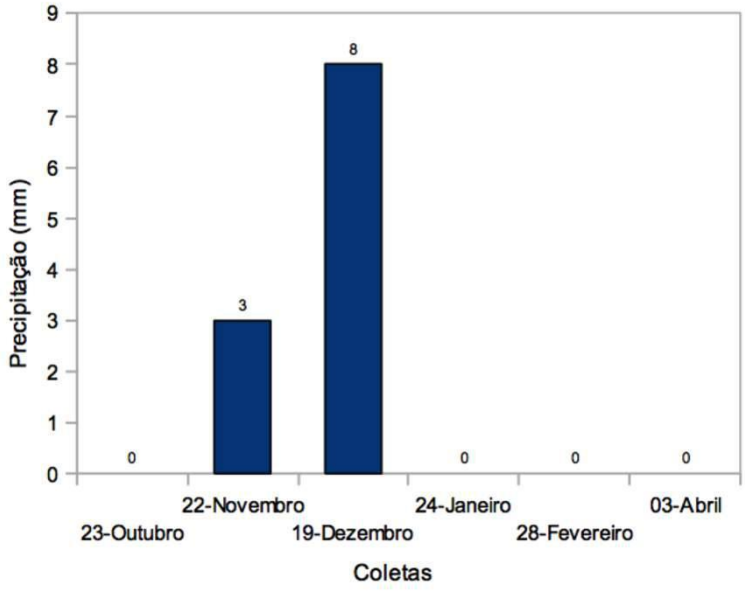
Com o emprego do *software* SAEG – Sistema de Análises Estatísticas (UFV, 2007), desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, em Minas Gerais, os dados foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, assumindo 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Precipitação mensal acumulada e nível d'água nos poços

No período de estudo, que foi de outubro de 2012 a abril de 2013. Foram verificadas ocorrências de precipitações nos meses de novembro e dezembro. De acordo com as informações obtidas do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (www.inmet.gov.br) essas precipitações no período totalizaram 11 mm (Figura 12). Com relação aos meses anteriores, os montantes acumulados mensalmente para os 30, 60 e 90 dias anteriores foram: em julho de 2012, 21 mm; em agosto de 2012, 15 mm; e em setembro de 2012, 3 mm. Considerando a média anual de evapotranspiração potencial informada por Varejão-Silva *et al.* (1984 *apud* SILVA *et al*., 2012), de 1.480 mm, conclui-se que os volumes precipitados provavelmente não foram suficientes para superar a evapotranspiração potencial do semiárido, evidenciando um possível déficit hídrico para o período estudado. Essa condição de eventos de precipitação de pequena magnitude, isolados e seguidos de dias com evapotranspiração (ETP) típica de regiões semiáridas, sugerem a ocorrência de uma recarga deficiente das barragens para o período estudado.

Figura 12 - Precipitação mensal acumulada (em mm) - de outubro de 2012 a abril de 2013.



Sobre os níveis d'água nos poços, apesar de não terem sido realizadas medições locais, na primeira visita realizada no mês de setembro de 2012 verificou-se visualmente que a barragem subterrânea encontrava-se próxima de sua capacidade total de armazenamento, ou seja, o nível d'água estava próximo ao nível superior do septo impermeável, sendo que, após o barramento (jusante), o solo estava completamente seco (Figuras 13a e 13b).

Figura 13 – Poço localizado na barragem subterrânea no início e no fim do período estudado.

(a) Situação em Outubro de 2012. (b) Situação em Abril de 2013.

Conforme mostrado nas Figuras 13a e 13b, ao longo do período estudado o nível d'água nos poços monitorados reduziu drasticamente, isto pode estar associado: aos baixos volumes precipitados no período, às perdas por evapotranspiração e aos bombeamentos diários realizados para irrigação das culturas locais. Durante o período de monitoramento foi possível verificar as grandes retiradas de água para irrigação das lavouras, pastagens, consumo humano, para atividades domésticas e dessedentação animal. Complementarmente, verificou-se a necessidade de conscientização dos usuários sobre a necessidade do manejo do sistema, tendo sido observado, inclusive, que não é realizado nenhum procedimento de cálculo para avaliação da quantidade de água necessária à cultura.

4.2 Análises de qualidade de água.

Os valores médios obtidos diretamente com a sonda em cada coleta para cada poço no período estudado, bem como os resultados estatísticos das comparações de médias entre poços e entre coletas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade estão apresentadas a seguir. Este teste foi aplicado aos dados obtidos para temperatura da água, pH, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e salinidade.

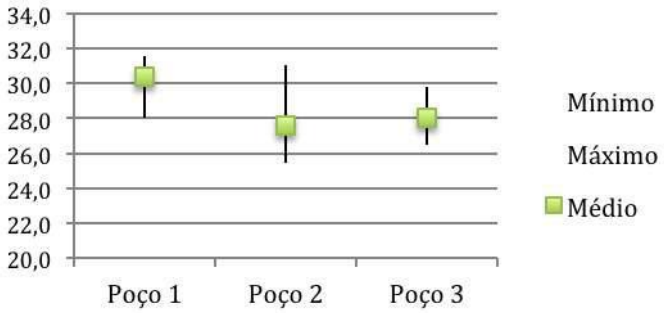
Apenas no poço 2 existiu água suficiente para uso da sonda em todas as coletas e consequentemente para obtenção dos dados analisados.

4.2.1 Temperatura

4.2.1.1 Dados obtidos com a sonda

A média dos valores de temperatura, obtidos com a sonda multiparâmetro, determinados em cada coleta estão apresentados na Figura 14. Os cenários observados para a cobertura de cada poço parecem contribuir para a variação da temperatura da água no interior do poço. Neste contexto, pode-se observar que os maiores valores dos extremos (máximo e mínimo), e consequentemente a média, foram obtidos para o poço 1, em que há exposição total do espelho d'água sem nenhum tipo de proteção (tampa ou vegetação). Os valore s mínimos de temperatura dos poços 2 e 3 estiveram próximos (25,6^{o}C e 26,5^{o}C, respectivamente) e podem estar relacionados com a existência de sombreamento resultante de vegetações próximas. Por outro lado, a existência de proteção (tampa) no poço 2 pode te r influenciado no valor máximo de temperatura observado neste (31,1^{o}C) que foi superior ao observado no poço 3 (29,8^{o}C) que não conta com este tipo de proteção. Além disso, pode -se observar que a maior amplitude (diferença entre o valor máximo e o mínimo observado) foi observado para o poço 2 (5,6^{o}C), enquanto que a amplitude dos poços 1 e 3 se mantiveram próximos (3,5 ^{o}C e 3,3^{o}C, respectivamente). Os demais valores de temperatura estão apresentados na Tabela 9.

Figura 14 – Valores de temperatura (^{o}C) da água (mínimo, médio e máximo) para cada poço.



4.2.1.2 Aplicação do teste de Tukey

Aplicando-se o teste de Tukey aos dados de temperatura, observa-se na Tabela 9 que foram encontradas diferenças significativas das temperaturas médias da água entre os poços, ou seja, o módulo da diferença entre as médias comparadas foi maior que a DMS (diferença mínima significativa), o que é especificado pela atribuição de letras diferentes para os grupos comparados.

Tabela 9 – Dados de cada coleta e resultados do Teste de Tukey referentes à temperatura (ºC).

Poço	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	Coleta 5	Coleta 6	Média coletas
1	31,6	31,6	28,1	30,3	*	*	**30,3 a**
2	25,5	26,4	26,6	26,9	28,9	31,1	**27,5 c**
3	*	*	26,5	27,2	29,8	28,7	**28,0 b**
Média poços	**28,5 C**	**29,0 B**	**27,0 D**	**28,1 C**	**29,3 B**	**29,9 A**	

* = Quantidade de água insuficiente para realizar medição com sonda. Média coletas = Mínima diferença significativa entre coletas: 0,440. Média poços = Mínima diferença significativa entre poços: 0,254. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente a 5% de probabilidade.

O poço 1 apresentou temperatura média de água de 30,3ºC, mais de dois graus Celsius acima dos demais poços que apresentaram, também, diferenças significativas de temperatura entre si. As temperaturas médias encontradas para os poços 2 e 3 foram, respectivamente, 27,5 e 28,0ºC. Os valores médios de temperatura da água dos poços observados em cada coleta também apresentaram diferenças significativas. A maior média, de 29,9ºC, foi registrada na coleta 6 enquanto que a menor foi obtida na coleta 3, de 27ºC.

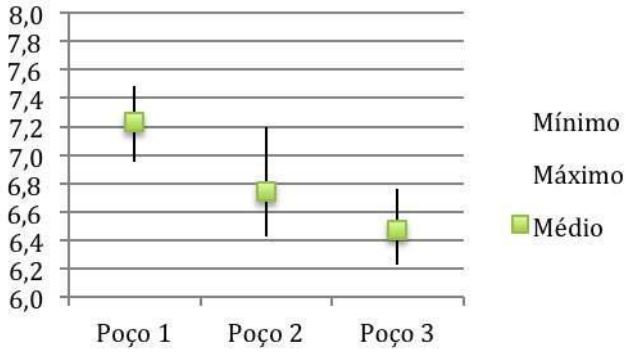
Analisando-se os dados referentes ao poço 2 é possível observar a elevação da temperatura com o passar do tempo ao longo do período de estiagem.

4.2.2 pH

4.2.2.1 Dados obtidos com a sonda

A média dos valores de pH, obtidos com a sonda multiparâmetro, determinados em cada coleta estão apresentados na Figura 15. Os maiores valores dos extremos (máximo e mínimo), e consequentemente a média, foram obtidos para o poço 1 e foram, respectivamente, 7,49 e 6,96. Os valores mínimos de pH dos poços 2 e 3 estiveram próximos (6,43 e 6,23, respectivamente), enquanto que os valores máximos apresentaram-se mais afastados (7,20 e 6,77, respectivamente). Assim como ocorreu com o parâmetro temperatura, a maior amplitude no pH foi observado para o poço 2 (0,77), enquanto que a amplitude no pH dos poços 1 e 3 se mantiveram próximos (0,53 e 0,54, respectivamente). Os demais valores de p H estão apresentados na Tabela 10.

Figura 15 – Valores de pH da água (mínimo, médio e máximo) para cada poço.



4.2.2.2 Aplicação do teste de Tukey

Aplicando-se o teste de Tukey aos dados de pH obtidos em cada coleta de cada poço, observa-se que foram encontradas diferenças significativas entre os mesmos, Tabela 10.

Tabela 10 – Dados de cada coleta e resultados do Teste de Tukey referentes ao pH.

Poço	**Coleta 1**	**Coleta 2**	**Coleta 3**	**Coleta 4**	**Coleta 5**	**Coleta 6**	**Média coletas**
1	7,49	6,96	7,41	7,06	*	*	**7,23 a**
2	6,83	6,76	6,58	6,43	6,64	7,20	**6,73 b**
3	*	*	6,77	6,23	6,44	6,46	**6,47 c**
Média poços	**7,16 A**	**6,86 BC**	**6,92 B**	**6,57 D**	**6,54 D**	**6,83 C**	

* = Quantidade de água insuficiente para realizar medição com sonda. Média coletas = Mínima diferença significativa entre coletas: 0,074. Média poços = Mínima diferença significativa entre poços: 0,042. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente a 5% de probabilidade.

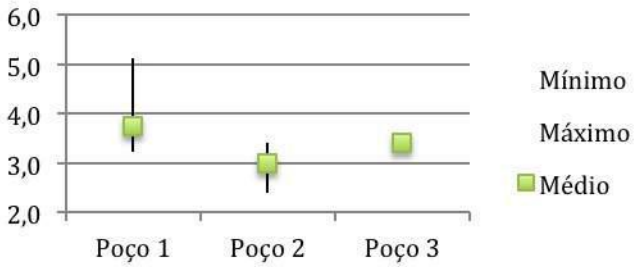
No que se refere ao parâmetro pH, os três poços apresentaram diferenças significativas entre si. Os valores médios de pH encontrados para os poços 1, 2 e 3 foram, respectivamente, 7,23, 6,73 e 6,47. Os valores médios de pH da água dos poços observados em cada coleta também apresentaram diferenças significativas, tendo sido observado o maior valor para a coleta 1 (7,16) que diferiu estatisticamente dos demais. Não houve diferenças significativas entre as coletas 2 e 3 (6,86 e 6,92, respectivamente). Também não houve diferença entre as coletas 4 e 5 (6,57 e 6,54, respectivamente). Enquanto que a coleta 6 apresentou valor de 6,83, e comportamento estatístico similar à coleta 2, e diferindo-se das demais.

4.2.3 Condutividade elétrica

4.2.3.1 Dados obtidos com a sonda

A média dos valores de condutividade elétrica (CE) determinados em cada coleta está apresentados na Figura 16. Os valores obtidos com a sonda estão em ∝S/cm e foram convertidos para dS/m por simplificação.

Figura 16 – Valores de CE (dS/m) da água (mínimo, médio e máximo) para cada poço.



O maior valor extremo de CE foi observado no poço 1 (de 5,11 dS/m), que também apresentou a maior amplitude (1,90 dS/m). No caso do poço 2, observou-se uma redução nos valores, sendo que os extremos foram 2,39 dS/m e 3,40 dS/m, para o mínimo e o máximo, respectivamente. Comportamento diferente dos outros dois poços foi observado no poço 3, em que os extremos ficaram próximos (3,29 dS/m e 3,52 dS/m, para o mínimo e o máximo, respectivamente). Os demais valores de CE estão apresentados na Tabela 11.

4.2.3.2 Aplicação do teste de Tukey

Aplicando-se o teste de Tukey aos dados de CE obtidos em cada coleta de cada poço, observa-se que foram encontradas diferenças significativas entre os mesmos, Tabela 11.

Tabela 11 – Dados de cada coleta e resultados do Teste de Tukey referentes à CE (dS/m).

Poço	**Coleta 1**	**Coleta 2**	**Coleta 3**	**Coleta 4**	**Coleta 5**	**Coleta 6**	**Média coletas**
1	5,11	3,26	3,21	3,39	*	*	**3,74 a**
2	2,39	2,96	2,96	3,12	3,20	3,40	**3,01 c**
3	*	*	3,29	3,52	3,33	3,51	**3,41 b**
Média poços	**3,75 A**	**3,11 C**	**3,15 BC**	**3,34 BC**	**3,26 BC**	**3,45 B**	

* = Quantidade de água insuficiente para realizar medição com sonda. Média coletas = Mínima diferença significativa entre coletas: 0,261. Média poços = Mínima diferença significativa entre poços: 0,148. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente a 5% de probabilidade.

No que se refere ao parâmetro CE, os três poços apresentaram diferenças significativas entre si. Os valores médios de CE encontrados para os poços 1, 2 e 3 foram,

respectivamente, 3,74, 3,01 e 3,41, respectivamente. Os valores médios de pH da água dos poços observados em cada coleta também apresentaram diferenças significativas, tendo sido observado o maior valor para a coleta 1 (3,75) que diferiu estatisticamente dos demais. Não houve diferenças significativas entre as demais coletas. Observando-se os dados de CE para todas as coletas realizadas do poço 2, de forma análoga ao que foi observado para a temperatura, verificou-se um aumento gradativo da CE com o passar do tempo ao longo do período de estiagem.

Os maiores valores de CE, em cada coleta, foram observados no poço 1, que não apresenta sistema de bombeamento, sendo seu uso restrito à dessedentação animal. Considerando-se que seu uso não é tão intenso quanto os outros dois poços, pode-se concluir que a renovação da água no seu interior não acontece na mesma velocidade que nos outros dois poços, e isso pode resultar em maior concentração de sais neste poço que, consequentemente, contribui para os altos valores de CE. Por outro lado, raciocínio similar pode ser aplicado para explicar o comportamento contrário do poço 2.

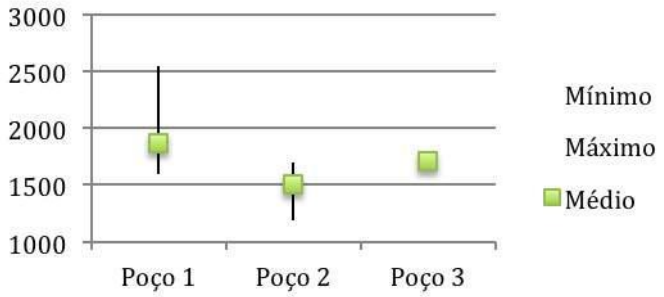
Os valores de CE em função das seis coletas realizadas apresentaram poucas diferenças estatísticas, sendo que a primeira coleta apresentou um comportamento diferenciado das demais, e a partir da segunda análise (de novembro de 2012 a fevereiro de 2013) percebeu-se que o comportamento da barragem foi praticamente estável. A diferença significativa voltou a aparecer apenas na coleta 6 em relação às duas primeiras coletas, possivelmente pela crescente temperatura da água desde a segunda coleta, podendo estar associada à maior evaporação que pode resultar na elevação da concentração de sais.

4.2.4 Sólidos Dissolvidos Totais

4.2.4.1 Dados obtidos com a sonda

As médias dos valores de sólidos dissolvidos totais (SDT) determinados em cada coleta estão apresentadas na Figura 17.

Figura 17 – Valores de SDT (mg/L) da água (mínimo, médio e máximo) para cada poço.



Considerando-se que águas que apresentam elevado teor de SDT podem levar para o solo grande quantidade de sais via irrigação, e analisando-se as Figuras 16 e 17 verifica-se que há coerência entre os comportamentos observados. O maior valor extremo de SDT foi observado no poço 1 (de 2.553,50 mg/L), que também apresentou a maior amplitude (946,70 mg/L). No caso do poço 2, observou-se uma redução nos valores, sendo que os extremos foram 1.193,70 mg/L e 1.701,90 mg/L, para o mínimo e o máximo, respectivamente. Comportamento diferente dos outros dois poços foi observado no poço 3, em que os extremos ficaram próximo s (1.646,30 mg/L e 1.759,20 mg/L, para o mínimo e o máximo, respectivamente). Os demais valores de SDT estão apresentados na Tabela 12.

4.2.4.2 Aplicação do teste de Tukey

Aplicando-se o teste de Tukey aos dados de SDT obtidos em cada coleta de cada poço observa-se que foram encontradas diferenças significativas entre os mesmos, Tabela 12.

Tabela 12 – Dados de cada coleta e resultados do Teste de Tukey referentes ao SDT (mg/L).

Poço	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	Coleta 5	Coleta 6	Média coletas
1	2.553,5	1.628,4	1.606,8	1.693,0	*	*	**1.870,4 a**
2	1.193,7	1.481,8	1.478,5	1.559,6	1.602,5	1.701,9	**1.503,0 c**
3	*	*	1.646,3	1.759,2	1.664,3	1.756,4	**1.706,6 b**
Média poços	**1.873,6 A**	**1.555,1 C**	**1.577,2 CB**	**1.670,6 CB**	**1.633,4 CB**	**1.729,15 B**	

* = Quantidade de água insuficiente para realizar medição com sonda. Média coletas = Mínima diferença significativa entre coletas: 130,34. Média poços = Mínima diferença significativa entre poços: 73,99. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente a 5% de probabilidade.

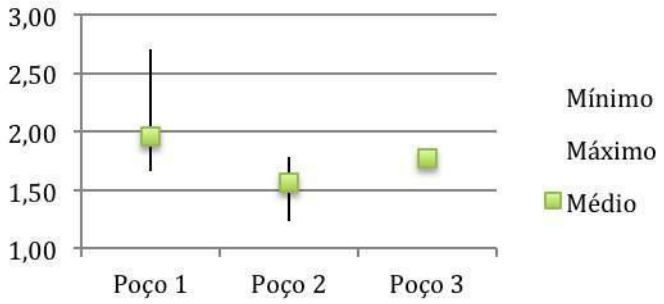
No que se refere ao parâmetro SDT, os valores médios encontrados para os três poços apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 12). Os valores médios de SDT encontrados para os poços 1, 2 e 3 foram, respectivamente, 1.870,4 mg/L, 1.503,0 mg/L, 1.706,6 mg/L, respectivamente. Os valores médios de SDT da água dos poços observados em cada coleta também apresentaram diferenças significativas, tendo sido observado o maior valor para a coleta 1 (1.873,6 mg/L) que diferiu estatisticamente dos demais. Com relação às demais coletas, verificou-se diferença significativa apenas entre as coletas 2 e 6, este comportamento foi análogo ao observado para os parâmetros CE, e portanto, sugere-se que no caso do SDT, o mesmo também pode estar associado à maior evaporação e à elevação da concentração de sais. Como não houve mudanças de temperatura e precipitação consideráveis entre essas duas coletas, essa diferença está, possivelmente, relacionada ao manejo da barragem como, por exemplo, maior demanda por irrigação da lavoura.

4.2.5 Salinidade

4.2.5.1 Dados obtidos com a sonda

A salinidade compreende a medida da quantidade de sais existente em massas de água naturais, e a média dos valores determinados em cada coleta estão apresentados na Figura 18.

Figura 18 – Valores de salinidade (PSU) da água (mínimo, médio e máximo) para cada poço.



O maior valor extremo de salinidade foi observado no poço 1 (de 2,71 PSU), que também apresentou a maior amplitude (1,04 PSU). No caso do poço 2, observou-se uma redução nos valores, sendo que os extremos foram 1,23 PSU e 1,79 PSU, para o mínimo e o máximo, respectivamente. Comportamento diferente dos outros dois poços foi observado no poço 3, em que os extremos ficaram próximo s (1,69 PSU e 1,84 PSU, para o mínimo e o máximo, respectivamente). Os demais valores de SDT estão apresentados na Tabela 13.

4.2.5.2 Aplicação do teste de Tukey

Aplicando-se o teste de Tukey aos dados de salinidade obtidos em cada coleta de cada poço observa-se que foram encontradas diferenças significativas entre os mesmos, Tabela 13.

Tabela 13 – Dados de cada coleta e resultados do Teste de Tukey referentes à salinidade (PSU).

Poço	**Coleta 1**	**Coleta 2**	**Coleta 3**	**Coleta 4**	**Coleta 5**	**Coleta 6**	**Média coletas**
1	2,71	1,68	1,67	1,78	*	*	**1,96 a**
2	1,23	1,54	1,55	1,62	1,67	1,79	**1,57 c**
3	*	*	1,72	1,84	1,69	1,83	**1,77 b**
Média poços	**1,97 A**	**1,61 C**	**1,65 C**	**1,74 BC**	**1,68 BC**	**1,81 B**	

* = Quantidade de água insuficiente para realizar medição com sonda. Média coletas = Mínima diferença significativa entre coletas: 0,144. Média poços = Mínima diferença significativa entre poços: 0,081. Letras iguais não diferem entre si estatisticamente a 5% de probabilidade.

Com relação à salinidade, os valores médios encontrados para os três poços apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 13). Os valores médios de salinidade encontrados para os poços 1, 2 e 3 foram, respectivamente, 1,96 PSU, 1,57 PSU e 1,77 PSU,

respectivamente. Os valores médios de salinidade da água dos poços observados em cada coleta também apresentaram diferenças significativas, tendo sido observado o maior valor para a coleta 1 (1,97 PSU) que diferiu estatisticamente dos demais. Com relação às outras coletas, verificou-se diferença significativa apenas entre a coleta 6 e as coletas 2 e 3.

O comportamento da salinidade, para o poço 2, foi análogo ao observado para a temperatura e a CE, em que se observou um aumento gradativo da CE com o passar do tempo ao longo do período de estiagem. Este comportamento é esperado, uma vez que a salinidade da água tem uma relação direta entre SDT e CE.

4.2.6 Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e risco de salinização

O índice RAS pode ser obtido pela Equação 1 , que envolve a determinação da concentração de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e sódio (Na^{+}) conforme metodologia descrita no item 3.5.2 deste trabalho. Os valores obtidos para cada um destes parâmetros estão apresentados na Tabela 14 e o quadro resumo com os valores de RAS, bem como as médias por coletas e por poço, encontra-se na Tabela 15.

Os valores de RAS se mantiveram entre 1,38 (coleta 2 do poço 1 e coleta 1 do poço 2) e 1,70 (coleta 6 do poço 2), e com pouca variação entre eles. A amplitude máxima observada foi de 0,32 para o poço 2, enquanto que no poço 1 foi de 0,28 e no poço 3 foi de 0,02 (Figura 19). A variação máxima na média entre os poços foi de 0,13 (poço 2 e poço 3) e na média entre as coletas foi de 0,24 (coleta 2 e coleta 6).

Tabela 14 – Parâmetros usados na determinação do RAS .

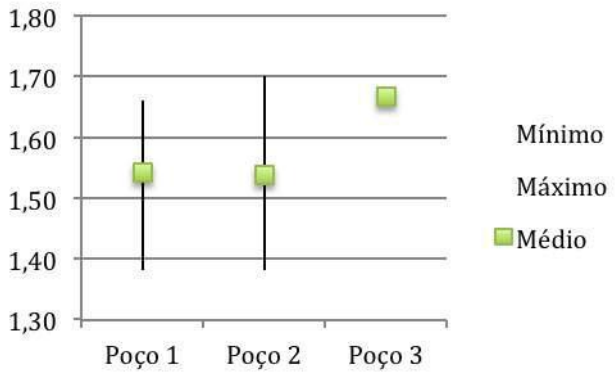
Poço	Coleta	Amostra	Referência	Ca^{2+} ($mmol_c/L$)	Mg^{2+} ($mmol_c/L$)	Na^{+} ($mmol_c/L$)
1	1	1	C1P1	11,663	23,895	6,896
	2	2	C2P1	7,454	15,243	5,409
	3	3	C3P1	8,016	13,973	5,513
	4	4	C4P1	8,817	17,638	5,435
	5	*	-	-	-	-
	6	*	-	-	-	-
2	1	5	C1P2	6,132	10,780	4,000
	2	6	C2P2	6,653	13,745	4,835
	3	7	C3P2	6,893	14,178	4,835
	4	8	C4P2	7,374	14,710	5,287
	5	9	C5P2	7,535	16,108	5,374
	6	10	C6P2	7,214	16,310	5,826
3	1	*	-	-	-	-
	2	*	-	-	-	-
	3	11	C3P3	7,054	17,410	5,843
	4	12	C4P3	7,374	18,043	5,983
	5	13	C5P3	7,695	17,342	5,878
	6	14	C6P3	5,771	18,882	5,774

* = Quantidade de água insuficiente para realizar medição com sonda.

Tabela 15 – Resultados da Razão de Adsorção de Sódio (RAS) .

Poço	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	Coleta 5	Coleta 6	Média
1	1,64	1,38	1,66	1,49	*	*	**1,54**
2	1,38	1,51	1,49	1,59	1,56	1,70	**1,53**
3	*	*	1,67	1,68	1,66	1,66	**1,66**
Média	**1,51**	**1,44**	**1,60**	**1,58**	**1,61**	**1,68**	

Figura 19 – Valores da Razão de Adsorção de Sódio (mínimo, médio e máximo) para cada poço.



4.3 Classificação da água para fins de irrigação

4.3.1 Classificação em função da Condutividade Elétrica (CE)

A classificação em função da CE é dividida em quatro classes de salinidade C1 (água de baixa salinidade), C2 (água de média salinidade), C3 (água de al ta salinidade) e C4 (água de muito alta salinidade) (RICHARDS, 1954). Comparando-se os dados obtidos em campo (Tabela 11) com as faixas informadas na literatura (Tabela 2), conclui-se que em todas as coletas dos três poços a água apresentou-se como “de muito alta salinidade”, ou seja, na classe C4, com teor de CE > 2,25 dS/m.

Neste caso, conforme explicado anteriormente, não se recomenda o uso da água rotineiramente para irrigação, porém pode ser usada ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais. De qualquer forma, na sua ocorrência devem ser observadas as seguintes características: os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo ser aplicada água em excesso para se obter uma boa lixiviação de sais e, mesmo assim devem ser explorados com culturas altamente tolerantes aos sais.

4.3.2 Classificação em função da Razão de Adsorção de Sódio (RAS)

A classificação em função da RAS é dividida também em 4 classes, S1(água com baixo teor de sódio), S2 (água com teor médio de sódio), S3 (água com alto teor de sódio) e S4 (água com teor muito alto de sódio). Para avaliação do perigo de salinidade e de sodicidade da água de irrigação, toma-se como base os valores de RAS e de condutividade elétrica (CE) presentes. Assim sendo, para cada um dos parâmetros existem quatro possibilidades de classificação: baixo, médio, alto e muito alto. Da combinação da classificação de RAS e CE determina -se qualidade da água.

Apresenta-se na Tabela 16 os valores obtidos em campo, em cada coleta e cada poço, referentes aos parâmetros CE e RAS, bem como a respectiva classificação baseada no Diagrama proposto por Richards (1954), Figura 5, em função dos parâmetros citados, cujas classes variam de C1 a C4 e de S1 a S4.

Em todas as coletas dos três poços a água apresentou-se como “de muito alta salinidade” e de “baixo conteúdo de sódio, ou seja, na classe C4S1, com teor de 2.250 δ CE δ 5.000 $\propto$S/cm a 25^{o}C e RAS δ 18,87 – 4,44 log CE. De acordo com a interpretação apresentada por Almeida (2010), nestas condições a água se apresenta, no que se refere à salinidade, em uma classe que não é apropriada para irrigação sob condições ordinárias,

porém pode ser usada ocasionalmente em circunstâncias muito especiais , e os solos devem ser permeáveis, a drenagem adequada, devendo-se aplicar excesso de água para alcançar uma boa lixiviação; devem , ainda, ser selecionados cultivos altamente tolerantes a sais. Com relação ao conteúdo de sódio, esta água p ode ser usada para a irrigação na maioria dos solos com pouca probabilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável, sendo que cultivos sensíveis, como fruteiras, podem acumular quantidades prejudiciais de sódio.

Tabela 16 – Classificação de águas para irrigação pela metodologia de Richards (1954) .

Poço	Coleta	CE		RAS	Classe	Salinidade	Sodificação
		(dS/m)	(∝mhos/cm)				
	1	5,11	5110	1,64	C4S1	Muito alto	Baixo
	2	3,26	3260	1,38	C4S1	Muito alto	Baixo
	3	3,21	3210	1,66	C4S1	Muito alto	Baixo
1	4	3,39	3390	1,49	C4S1	Muito alto	Baixo
	5	*		-	-	-	-
	6	*		-	-	-	-
	Média	**3,74**	**3740**	**1,54**	**C4S1**	**Muito alto**	**Baixo**
	1	2,39	2390	1,38	C4S1	Muito alto	Baixo
	2	2,96	2960	1,51	C4S1	Muito alto	Baixo
	3	2,96	2960	1,49	C4S1	Muito alto	Baixo
2	4	3,12	3120	1,59	C4S1	Muito alto	Baixo
	5	3,20	3200	1,56	C4S1	Muito alto	Baixo
	6	3,40	3400	1,70	C4S1	Muito alto	Baixo
	Média	**3,01**	**3010**	**1,53**	**C4S1**	**Muito alto**	**Baixo**
	1	*		-	-	-	-
	2	*		-	-	-	-
	3	3,29	3290	1,67	C4S1	Muito alto	Baixo
3	4	3,52	3520	1,68	C4S1	Muito alto	Baixo
	5	3,33	3330	1,66	C4S1	Muito alto	Baixo
	6	3,51	3510	1,66	C4S1	Muito alto	Baixo
	Média	**3,41**	**3410**	**1,66**	**C4S1**	**Muito alto**	**Baixo**

* = Quantidade de água insuficiente para realizar medição com sonda. Conversão: 1 dS/m = 1000 ∝mhos/cm.

4.3.3 Comparação com os padrões recomendados pela EMBRAPA

Os dados obtidos nesta pesquisa foram considerados à luz da publicação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA sobre a "Qualidade da água para irrigação" (ALMEIDA, 2010). Neste contexto, dos parâmetros previstos nesta publicação foram analisados os valores obtidos para CE e pH (Tabela 17).

Todas as amostras coletadas dos três poços apresentaram valores de pH que atendem aos limites informados por Almeida (2010), de 6,0 a 8,5. Esses níveis de pH não são capazes de gerar desequilíbrio nutricional às plantas a curto prazo.

Com relação aos valores de CE, observou-se que exceto pelas três primeiras amostras coletas do poço 2, todas as amostras apresentaram teores deste parâmetro que superam os limites estabelecidos neste mesmo documento que foi de 0,0 a 3,0 dS/m. Como, dentre os três poços analisados, o poço 2 é o mais importante quando se considera a potencialidade de uso para

irrigação (maior capacidade de produção), a discussão sobre seus teores no contexto da irrigação é pertinente para o cenário real, em que toda a irrigação comercial é realizada a partir dele.

Tabela 17 – Análise de pH e CE conforme limites do EMBRAPA (ALMEIDA, 2010).

Poço	Coleta	pH	Atendimento ao limite: 6,0 a 8,5	CE (dS/m)	Atendimento ao limite: 0 a 3,0
1	1	7,49	Sim	5,11	Não
	2	6,96	Sim	3,26	Não
	3	7,41	Sim	3,21	Não
	4	7,06	Sim	3,39	Não
	5	*	-	*	-
	6	*	-	*	-
2	1	6,83	Sim	2,39	**Sim**
	2	6,76	Sim	2,96	**Sim**
	3	6,58	Sim	2,96	**Sim**
	4	6,43	Sim	3,12	Não
	5	6,64	Sim	3,20	Não
	6	7,20	Sim	3,40	Não
3	1	*	-	*	-
	2	*	-	*	-
	3	6,77	Sim	3,29	Não
	4	6,23	Sim	3,52	Não
	5	6,44	Sim	3,33	Não
	6	6,46	Sim	3,51	Não

* = Quantidade de água insuficiente para realizar medição com sonda .

Como a CE, segundo Almeida (2010), é o parâmetro considerado para determinar a potencialidade da água de salinizar um solo, devido, principalmente pela facilidade de sua determinação. Os dados obtidos deste parâmetro, na maioria das amostras coletadas (78%), indicam que com o uso frequente da água dos três poços, como ocorre na realidade, há risco de altas concentrações de sais, e consequente ocorrência do efeito osmótico e diminuição das produtividades dos cultivos. Diante disto, e considerando a inexistência de outras possibilidades de captação de água, em quantidade suficientes que permitam seu uso na irrigação, faz-se necessário investigar quais culturas resistentes a elevados níveis de sais são utilizáveis, para fins comerciais, nesta região.

Assim sendo, para recomendação mais específica de uso da água na irrigação, no âmbito das recomendações da EMBRAPA, além da redução nos parâmetros listados que não atendem às recomendações da referida publicação, é preciso analisar: sódio, cálcio e magnésio, amônia, cloreto, fosfato, nitrato, bicarbonatos, boro, carbonatos, potássio, e sulfato.

4.4 Classificação da água para dessedentação animal

Conforme explicado anteriormente, devido à ausência de um padrão de classificação universal que atenda à diversidade das espécies de animais, variedade de raças, tamanho, sexo, e combine estas características com às especificidades climáticas, foi considerado, os limites apresentados por Laraque (1991 *apud* COSTA & CIRILO, 2010), Tabela 4, e Logan (1965 *apud* COSTA & CIRILO, 2010), Tabela 5, para comparação com os valores de SDT obtidos nesta pesquisa.

Da comparação com os limites estabelecidos por Laraque (1991 *apud* COSTA & CIRILO, 2010), pode-se observar que em todas as coletas dos três poços a água apresenta níveis de SDT adequados à dessedentação animal de todas as categorias consideradas: aves, suínos, equinos, bovinos (corte e leite) e ovinos.

A criação de gado é a principal atividade agropecuária desenvolvida no local e usa unicamente da água da barragem estudada. Neste contexto, quando a comparação é realizada considerando-se os limites estabelecidos por Logan (1965 *apud* COSTA & CIRILO, 2010) exclusivamente para a dessedentação de gado, apenas o valor de SDT determinado na primeira coleta do poço 1 não se enquadrou como boa, ultrapassando o limite estabelecido para esta categoria que é de 2.500 mg/L, e, apesar de alto (2.553,5 mg/L) pode ser considerada ainda como satisfatória (de 2.501 a 3.500 mg/L).

4.5 Proposição de uso da água

A água analisada nesta pesquisa apresenta elevados teores de sais dissolvidos. Mesmo assim, constitui-se como única fonte de água disponível durante grande parte do ano, principalmente no período estudado, o que justifica o seu uso como opção para a produção agrícola local.

Anteriormente à proposição de uso da água, é importante caracterizar o comportamento de cada um dos parâmetros analisados. Com relação ao pH, nenhum dos valores obtidos supera os limites máximos do parâmetro destacados por Ayers & Wescot (1991), que é 8,4, de Nakayama (1982), que é de 8, e Almeida (2010), que é de 8,5. Com relação ao limite mínimo, os valores indicados na literatura são: 6,5 para Ayers & Wescot (1991) e 6 para Almeida (2010), não havendo restrição para águas com pH abaixo de 7 segundo Nakayama (1982). Assim sendo, não atendem ao limite mínimo proposto por Ayers
& Wescot (1991), a água do poço 2 na coleta 4 (6,43), e a água do poço 3 nas coletas 4 (6,23), 5 (6,44) e 6 (6,46). Estas variações de pH ocorridas em função do tempo na água da barragem subterrânea podem ter sido influenciadas por processos unicamente biológicos como a fotossíntese, respiração, turbulência e aeração uma vez que não foi registrado descarga de efluentes na área de recarga do manancial. Variações essas que, embora possam interferir na qualidade da água de

irrigação, pois o pH controla a disponibilidade de nutrientes às plantas na solução do solo (MALAVOLTA, VITTI & OLIVEIRA, 1997), não são capaz es de causar limitação para o uso na irrigação.

Sobre os valores de CE, no que se refere ao uso na agricultura, levando em consideração a publicação da EMBRAPA sobre a "Qualidade da água para irrigação", na qual o valor máximo aceitável da CE para a água a ser destinada à irrigação é de 3 dS/m ou seja, 3.000 µS/cm, apenas nas amostras do poço 2 retiradas nas três primeiras coletas verifica -se o atendimento ao limite indicado por Almeida (2010). Os níveis de CE encontrados em função dos períodos de coleta, são potencialmente capazes de gerar efeitos negativos para o uso no processo de irrigação. Para a irrigação, principalmente pelo fato do sistema de irrigação disponível na área de estudo ser o de aspersão, pode provocar queimaduras das folhas das culturas sensíveis aos sais intensificados pelas altas temperaturas como as registradas no período de estudo (HOWARD & BARTRAM, 2003; DELVIO, MATSURA & TESTEZLAF, 2006). Quando não são feitas distinção de poços e analisamos a barragem como um todo, os dados são ainda mais preocupantes do que aqueles analisando os poços separadamente. Todos os valores médios de CE estão acima de 3 dS/m o que caracteriza a água do manancial como classe C4, ou seja, com elevados riscos e severos problemas de salinidade.

No que se refere ao teor de SDT, todos os poços e todas as análises apresentaram concentrações de ste parâmetro acima de 500 mg/L resultando em possíveis limitações de uso (COSTA, 1987). Pode-se inferir que a contaminação da água da barragem subterrânea com SDT tenha como principal fonte agricultura praticada na região uma vez que outras fontes de contaminação como estações de tratamento de esgotos, esgotos não tratados, efluentes industriais e mineração (NIEWEGLOWSKI, 2006) não foram notados na região de estudo. Assim como ocorrido com a água dos poços, os índices médios de SDT encontrados em função dos períodos de coleta também estão todos acima do recomendado para irrigação (COSTA,1987).

No que se refere à salinidade, os níveis de sais contidos na água da barragem subterrânea estudada quando, via irrigação, passarem para a solução do solo podem reduzir o potencial germinativo das sementes plantadas, retardar ou reduzir o desenvolvimento vegetativo das culturas pela redução a disponibilidade de água e até mesmo a morte de plantas (PAULINO, 2008).

Com relação à RAS, m esmo havendo diferenças numéricas entre os valores encontrados nas análises para os 3 poços e nas 6 coletas , todos os valores encontram-se abaixo dos níveis de danos à agricultura e não apresenta riscos de sodificação do solo segundo Richards (1954). Os valores médios encontrados de RAS na água dos poços 1, 2 e 3, respectivamente, foram 1,54, 1,53 e 1,66. Esses valores de RAS, segundo a metodologia proposta por Richards (1954), não oferecem riscos efetivos de sodicidade do solo em área irrigadas. Os valores médios de RAS em função das

coletas encontraram-se entre 1,44 e 1,68 o que também não oferece riscos de sodificação do solo irrigado com a água dessa barragem subterrânea independentemente do poço ou época do período estudado.

Nas áreas de cultivo irrigadas com água da barragem subterrânea estudada, os agricultores não consideram o binômio capacidade adaptativa e rendimento economicamente aceitável, conforme enfatizado por Ayres & Westcot (1991), para a escolha da cultura a ser plantada. Considerando-se os valores de CE obtidos em cada amostra de água, de cada poço, a ser usada para irrigação e os valores apresentados por Ayres & Westcot (1985) de condutividade elétrica da água de irrigação a 25°C (CEw) para cada cultura, construiu-se a Tabela 18.

Conforme apresentado na Tabela 18, dentre as culturas analisadas, a beterraba é a que apresenta capacidade adaptativa que garante, nas condições existentes, perda de produtividade máxima de 10% e em apenas uma das coletas realizadas (a primeira coleta do poço 1).

Tabela 18 – Perda de produtividade para teores de CE conforme Ayres & Westcot (1985).

Poço	Coleta	CE (dS/m)	Perda de produtividade para CE (dS/m)						
			Beterraba 50%: < 10,0 0%: < 4,7 10%: < 5,8 25%: < 7,5 > 50%: > 10,0	**Cebola** 50%: < 2,9 0%: < 0,8 10%: < 1,2 25%: < 1,8 > 50%: > 2,9	**Cenoura** 50%: < 3,1 0%: < 0,7 10%: < 1,1 25%: < 1,9 > 50%: > 3,1	**Feijão** 0%: < 0,7 10%: < 1,0 25%: < 1,5 50%: < 2,4 > 50%: > 2,4	**Milho** 0%: < 1,1 10%: < 1,7 25%: < 2,5 50%: < 3,9 > 50%: > 3,9	**Repolho** 0%: < 1,2 10%: < 1,9 25%: < 2,9 50%: < 4,6 > 50%: > 4,6	**Tomate** 0%: < 1,7 10%: < 2,3 25%: < 3,4 50%: < 5,0 > 50%: > 5,0
1	1	5,11	10%	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**
	2	3,26	-	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	50%	50%	25%
	3	3,21	-	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	50%	50%	25%
	4	3,39	-	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	50%	50%	25%
	5	*	-	-	-	-	-	-	-
	6	*	-	-	-	-	-	-	-
2	1	2,39	-	50%	50%	50%	25%	25%	25%
	2	2,96	-	**> 50%**	50%	**> 50%**	50%	50%	25%
	3	2,96	-	**> 50%**	50%	**> 50%**	50%	50%	25%
	4	3,12	-	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	50%	50%	25%
	5	3,20	-	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	50%	50%	25%
	6	3,40	-	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	50%	50%	25%
3	1	*	-	-	-	-	-	-	-
	2	*	-	-	-	-	-	-	-
	3	3,29	-	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	50%	50%	25%
	4	3,52	-	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	50%	50%	50%
	5	3,33	-	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	50%	50%	25%
	6	3,51	-	**> 50%**	**> 50%**	**> 50%**	50%	50%	50%

Conversão: 1 deci-Siemen/meter (dS/m) = 1 mmhos/cm.

Os teores de sais dissolvidos que conferem à água os valores de CE determinados nas outras coletas realizadas dos três poços estão na faixa de tolerância da beterraba (< 4, 7 dS/m) para que não ocorra nenhuma perda de produtividade. Complementarmente, Cordeiro *et al.* (1999) constataram que a utilização de água salina com níveis de 4 dS/m a 8dS/m não comprometeram a produtividade de beterraba, demonstrando, este espécie vegetal, alta tolerância à salinidade.

Os maiores percentuais de perdas de produtividade foram observados nas culturas de cebola, cenoura e feijão. Os valores de CE obtidos em todas as coletas indicam que o uso desta na irrigação dos cultivos de cebola, de cenoura e de feijão implica em perda de produtividade igual ou maior que 50%.

Da análise dos cultivos de milho e repolho não obteve-se bons percentuais. Exceto pela água da coleta 1 do poço 1, que indicou perda superior a 50%, e da coleta 1 do poço 2, que indicou perda da ordem de 25%, as demais coletas indicaram perda da ordem de 50%.

O plantio de tomate, apesar de não apresentar percentuais de perdas tão bons quanto o cultivo de beterraba, exceto pela água da coleta 1 do poço 1, que indicou perda superior a

50%, e pela água das coletas 4 e 6 do poço 3, que indicou perda da ordem de 50%, nas demais coletas a perda não ultrapassa 25%.

Portanto, considerando-se que na ocorrência de estiagem ou de baixos índices pluviométricos, como os observados no período de realização desta pesquisa (no qual choveu apenas 11 mm), a agricultura de sequeiro é impraticável, os agricultores familiares que utilizam água da barragem para irrigação de suas lavouras devem optar por aquelas culturas mais tolerantes a elevados níveis de sais, como é o caso da beterraba e do tomate.

Nos períodos chuvosos em que a irrigação seja necessária apenas em casos emergências (veranicos) os agricultores podem variar suas culturas e considerar também como reais possibilidades, sem perdas (ou com poucas perdas) de produtividade, o cultivo de milho e repolho. Por outro lado, os cultivos de cebola, cenoura e feijão devem ser evitados em períodos de estiagem por serem bastante susceptíveis aos sais.

4.6 Condutividade elétrica da solução do solo

De acordo com o trabalho publicado por Dias & Blanco (2010), existem valores limites de CE da solução do solo para os quais, acima deles, as culturas irão ter

sua produtividade prejudicada. A Tabela 19 indica os valores limites de CE do extrato de solo, proposto por Dias & Blanco (2010), para evitar efeitos generalizados no desenvolvimento das plantas, bem como os valores de CE do extrato de solo (1:2,5) determinados nesta pesquisa.

Tabela 19 – Limites dos teores de CE do extrato de solo conforme Dias & Blanco (2010).

Profundidade (m)	**CEe (dS/m)**	**Atendimento ao limite de CEe (dS/m)**						
		Beterraba (Lim.: 4,0)	**Cebola** (Lim.: 1,2)	**Cenoura** (Lim.: 1,0)	**Feijão** (Lim.: 1,0)	**Milho** (Lim.: 1,7)	**Repolho** (Lim.: 1,8)	**Tomate** (Lim.: 2,5)
0,00 – 0,20	0,54	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
0,20 – 0,40	0,20	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
0,40 – 0,60	0,17	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Média	0,30	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Legenda: CEe = condutividade elétrica do extrato de solo. Lim. = limite.

Conforme se apresenta na Tabela 19, nas três faixas de profundidade investigadas, o extrato de solo apresentou teores de CE que não comprometem o desenvolvimento dos cultivos analisados. Assim sendo, no que se refere ao extrato de solo, não há restrição para o cultivo de beterraba, cebola, cenoura, feijão, milho, repolho e tomate.

5 CONCLUSÕES E RECOM ENDAÇÕES

5.1 Conclusões

Segundo os resultados obtidos, a água da barragem subterrânea estudada foi classificada como de classe C4S1, ou seja, com muito alto risco de salinidade e baixo risco de sodicidade. Nesta condição pode provocar redução de produtividade nas culturas de milho e feijão acima de 25 e 50%, respectivamente. O uso dessa água para irrigação, no período estudado, deveria se dar apenas em situações especiais (irrigação de salvamento ou em culturas altamente resistentes a sais) desde que os solos possuam drenagem adequada.

Ao se analisar a possibilidade de cultivo de outras culturas, identificou-se que a beterraba e o tomate podem ser utilizadas na região com perdas de produtividades menores que outras culturas analisadas, como cebola, cenoura, repolho. Culturas sensíveis à salinidade como o feijão e a cebola devem ser evitadas no período seco, do contrário o risco de prejuízo da lavoura pode ultrapassar a 50%.

Por outro lado, segundo a classificação de água para a dessedentação animal em função dos sólidos totais dissolvidos, a água da barragem encontra-se, não apenas, dentro dos limites aceitáveis para as principais espécies criadas na região como também foi classificada como de boa qualidade (< 2.500 mg/L de sólidos totais dissolvidos) para consumo bovino, que é a principal renda da propriedade.

5.2 Recomendações

Para pesquisas futuras, recomenda-se que continue sendo feito o monitoramento da qualidade da água nesta barragem e que se amplie a quantidade de parâmetros monitorados.

A avaliação da capacidade de armazenamento, bem como o monitoramento do nível d'água podem contribuir significativamente para o melhoramento do conhecimento sobre a situação atual das barragens subterrâneas existentes.

Realizar o monitoramento dos parâmetros de qualidade de água e solo no período chuvoso e no de estiagem e verificar como ocorre a variação nos parâmetros analisados.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnica s. **NBR 12.621 – Águas – Determinação da dureza total – Método titulométrico do EDTA-Na.** 4 páginas, setembro de 1992.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação.** Dados eletrônicos, Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010, 228 p.

ALMEIDA, T. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; LEITÃO, T. E. & MONTENEGRO, A. A. A. *Análise preliminar da vulnerabilidade e contaminação de área sob cultivo agrícola com barragem subterrânea no semiárido* . In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2006, Curitiba -PR. **Anais.,**18p

AYERS, R. S. & WESTCOT, D. W. *A* **Qualidade da Água para a Agricultura** . Organização para Alimentação e Agricultura das Nações Unidas, Roma, FAO, 1985.

AYERS, R. S. & WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura** . Trad. H. R. Gheyi, J. F. Medeiros & F. A. V. Damasco. Campina Grande, UFPB, 1991.

AZEVEDO, M. A.; NASCIMENTO J. W. B.; FURTADO, D. A. *Técnicas construtivas para barragens subterrâneas, bapucosa e poços amazonas* . **Revista Educação Agrícola Superior**, v.25, n.1, 2010. p.31-36.

BASTOS, D. C. O. **Manejo da Salinidade em Irrigação Localizada: Análise da Alternativa de Lixiviação Incompleta** . Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2004. Recife - PE, 68p.

BAILEY, D.A.; NELSON, P.V.; FONTENO W.C. **Substrates pH and water quality**. Raleigh: North Carolina State University, 2000.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação** . Viçosa: Imprensa Universitária, 657 p., 1995.

BERTOLDO, J. G., ROCHA, F., COIMBRA, J. L. M., ZITTERELL, D., GRAH, V. F. *Teste de Comparação de Médias: Dificuldad es e Acertos em Artigos Científicos*, **R. Bras. Agrociência, Pelotas**, v.13, n.4, p.441-447, out-dez, 2007.

BRITO, L.T.L., SILVA, D.A., CAVALCANTI, N.B., ANJOS, J.B., REGO, M.M., *Alternativa Tecnológica para aumentar a disponibilidade de Água no semi -árido* , **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 3, n. 1, 1999, p 111-115.

CIRILO, J.A.; COSTA, W.D.; PONTES, M.; MAIA, A.Z. *Barragem Subterrânea: Um programa Pioneiro em Pernambuco*. In: 4º SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 1998, Campina Grande – PB. **Anais...** CD - ROM.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Seção 630 – *Procedimentos de amostragem do solo*. In: **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas** , 44p., 1999. Disponível em: < http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/manual-de-gerenciamento-de-areas-contaminadas/7-manual-de-gerenciamento-das--acs> , acessado em 12 de dezembro de 2013.

CIRILO, J.; ABREU, G. F. H.; COSTA, M. R. *Soluções para o suprimento de água de comunidades rurais difusas no semiárido brasil eiro: avaliação de barragens subterrâneas.* **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Volume 8 n.4. 2003. p. 5-24.

CIRILO, J. A., MONTENEGRO, S.M.G.L., CAMPOS, J. N. B. *A questão da água no semiárido brasileiro* . In: Bicudo, C.E. de M; Tundisi, J.G.; Scheuenstuhl, M.C.B.. (Org.). **Águas do Brasil análises estratégicas** . 1ed.São Paulo: Instituto de Botânica, 2010, v. 1, p. 81-91.

CORDEIRO, G.G., RESENDE, G.M., PEREIRA, J.R., COSTA, N.D. *Utilização de água salina e condicionador de solo na produção de beterraba no semi-árido brasileiro* . **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 1. p. 39-41, março 1999.

CORDEIRO, G. G. **Qualidade de água para fins de irrigação (Conceitos básicos e práticas)** . Petrolina, PE: Embrapa Semi-Árido, 32 p., 2001.

COSTA, W. D. *Aqüíferos aluviais como suporte agropecuário no nordeste* . IN: 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, V.1., 1984. Fortaleza -CE: **Anais.**, p. 431-440.

COSTA, W. D. O *Aqüífero Aluvial e sua Exploração Racional* . In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNE AS, 1986, Brasília – DF: **Anais...**, p. 277-278.

COSTA, W. D. *Pesquisa Hidrogeológica Visando a Implantação de Barragens Subterrâneas em Aluviões* . In: I SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE, 1987, Recife – PE: **Anais.**, p. 13-23.

COSTA, W.D. **Manual de barragens subterrâneas: conceitos básicos, aspectos locacionais e construtivos**. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco-PE, 1997.

COSTA, M.R. **Avaliação de reservatórios constituídos por barragens subterrâneas** . Dissertação (Mestrado em T ecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 2002. Recife 120p.

COSTA, W.D. *Barragens subterrâneas: conceitos básicos, aspectos locacionais e construtivos.* In: CABRAL *et al*. (ORG.) **Água Su bterrânea: Aqüíferos Costeiros e Aluviões, Vulnerabilidade e Aproveitamento.** Tópicos Especiais em recursos Hídricos Vol. 4. Recife: UFPE, 2004, p.13-60.

COSTA, C.T., PUERARI, W.M., CASTRO, M.A.H. Barragem Subterrânea: A Experiência do Estado do Ceará. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS , 2002, Florianópolis – SC: **Anais.**, 9 p.

COSTA, C.P.M.; ELOI, W.M.; CARVALHO, C.M.; VALNIR JÚNIOR, M.; SILVA, M.A.N. *Caracterização qualitativa da água de irrigação na cultura da videira no município de Brejo Santo, Ceará* . **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n.2, 15 p., 2005.

COSTA, M.R., LIMA, E.B., DAMASCENO, S.B. Variação Temporal da Salinidade das Águas e m Barragens Subterrâneas no Semi-Árido do Nordeste d o Brasil. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS. 2010 São Luís – MA: **Anais**., p. 13.

COSTA, M. R.; CIRILO, J. A. *Análise do potencial de uso das águas subterrâneas nas bacias da região semiárida do estado de Pernambuco* . In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS. 2010 São Luís – MA: **Anais**... p,13.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea** . Diagnóstico do município de Caruaru, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 11 p. + anexos.

DAKER, A. **Irrigação e Drenagem; A água na agricultura** , 3o vol.,7a ed. ver. ampl. Freitas Bastos, Rio de Janeiro, 1988.

DAMASCENO, L. M. O., ANDRADE JÚNIOR, A. S., DIAS, N. da S. , FRANCO, J. L. D.,e SILVA E. F. *Qualidade da Água do Rio Poty para Consumo Humano, na Região de Teresina, PI*. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável Grupo Verde de Agricultura Alternativa**, (GVAA) Mossoró – RN – Brasil., 2008.

DANTAS, L.C.A. **Avaliação das Barragens Subterrâneas no Regime de um Curso d'água na Região de Semi -árido do RN** . Dissertação de Mestrado do Programa de Pós - Graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 113 p., 2009.

DELVIO, S., MATSURA, E. E., TESTEZLAF, R. **Teores de Nutrientes na Alface Irrigada com Água Residuária Aplicada por Sistemas de Irrigação** , Brasil v.26, n.1, pp 45-57, 2006.

DIAS, N. S., BLANCO, F. F. **Efeitos dos sais no solo e na planta, Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados** , Fortaleza - CE, 2010.

FAGERIA, N. K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas** . Brasília: EMPRAPA-DPU, 1989.

FARIAS, M.M.M.W.E.C. **Telhados Verdes no Agreste Pernambucano**. Dissertação, Programa de Pós -Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru-PE, 115p, 2012.

FIA, R., ANJOS, P. P., MATOS, A. T., EUSTÁQUIO JUNIOR, V. *Estimativa da CEes a partir da CE1:2,5 em solo fertirrigado com água residuária da lavagem e descas camento dos frutos do cafeeiro*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 31, 2005, Guarapari. **Anais.,** Guarapari: Gráfica e Editora Bom Pastor, v.1. p.257-258. 2005.

FUKUZAWA, C. M. **Influência da Litologia nas Águas e Sedimentos do Rio Piringa – Formador do Rio Doce, Brasil**. Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental, 2008.

HANDRECK, K.; BLACK, N. **Growing media for ornamental plants and turf**. Sydney: University of New South Wales Press, 1999. 448 p.

HANSON, G.; NILSSON, Å. *Ground-Water Dams for Rural-Water Supplies in Developing Countries*. **Ground Water**, v. 24, n. 4, p. 497-506, 1986.

HERMES, L.C.; SILVA, A.S. **Parâmetros básicos para avaliação da qualidade das águas: análise e seu significado ambiental** . Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 32p, 20 02.

HOLANDA, J. S. de & AMORIM, J. R. A. *Qualidade da água para irrigação . In*: GHEYI, H. R., QUEIROZ, J. E. & MEDEIROS, J. F. de. (eds). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, p. 137-169, 1997.

HOWARD, G.; BARTRAM, J. **Domestic Water Quantity**. Service Level and Health, World Health Organization, Geneva, Switzerland, 1 p, 2003.

LEAL, C. M., ANDRADE JÚNIOR, A. S. de, SOUSA, V. F. de, SILVA, E. F. de F. E BASTOS, E. A. **Qualidade da água subterrânea para fins de i rrigação na microregião de Teresina, Piauí**; p 276-288, 2009.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da irrigação no Brasil.** São Paulo: O Estado das águas no Brasil, p. 73 -82, 1999.

LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F.; SOUZA, A. P.; GUERRA, J. G. M.; RIBEIRO, R. L. D. *Desempenho da alface em cultivo orgânico com e sem cobertura morta e diferentes lâminas d'água* . **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.1503-1510, 2009.

MACÊDO, L.S.; SOUSA, M.R.; MORRILL, W.B.B. *Drenagem para Controle da Salinidade.* **Tecnol. & Ciên. Agropec**., João Pessoa, v.1., n.2, p.69-71, dez. 2007.

MAIA, C.E.; MORAIS, E.R.C.; OLIVEIRA, M. **Classificação da Água de Irrigação Utilizando Quatro Metodologias de Cálculo para a Razão de Adsorção de Sódio - II. Região do Baixo Açu, Ri o Grande do Norte**. Caatinga, Mossoró -RN, v.1, n.1, p.47-52, dez. 1998.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 319 p.,1997.

MELO, J. G.; LOPES, V. L. *Comportamento Hidráulico dos Aluviões do Curso Inferior do Rio Encanto – RN*. In: I. SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO NORDESTE. Recife, PE: **Anais.,** p. 25-36, 1987.

MELO, R. F.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; ANJOS, J. B. *Avaliação do uso de adubo orgânico nas culturas de milho e feijão caupi em barragem subterrânea* . In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA & 6. CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE AGROECOLOGIA, 2., 2009, Curitiba-PR. **Anais.,** Agricultura familiar e camponesa: experiências passadas e presentes construindo um futuro sustentável Curitiba: ABA: SOCLA, 2009. 1 CD-ROM.

MI - Ministério da Integração Nacional (2005). **Nova delimitação do semiárido Brasileiro** . Disponível em: <www.mi.gov.br>. Acesso em: 07 dez. 2013.

MMA – Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Política Nacional dos Recursos Hídricos**. Brasília: 1997.

MONTEIRO, L. C. C.; BIANCHI, L.; FERREIRA FILHO, W. M. Armazenamento de Água em Barragens Subterrâneas. In: VIII SIMPÓSIO BRA SILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Recife, PE. **Anais...** Recife, 1989. p. 228- 237.

MORAIS, E. R. C., MAIA, C. E., OLIVEIRA, M. O. *Qualidade da Água para Irrigação em Amostras Analíticas do Banco de Dados do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró* , Mossoró -RN, 1998. p.75-83.

MORAIS, F. A., GURGEL, M. T., OLIVEIRA, F. H. T. , MOTA, A. F. *Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol* . **Revista Ciência Agronômica** , v. 42, n. 2, p. 327-336, 2011.

MOTA, P. R. D., BÔAS, R. L. V., LUDWIG, F., FERNANDES, D. M., FOLEGATTI, M. V. *Avaliação do pH e da condutividade elétrica do substrato sob níveis de fertirrigação e métodos de extração da solução.* **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v.17, n^{o}. 2, p. 121-126, 2011.

MOURA , R. da S., HERNANDEZ, F. B. T., LEITE, M. A., FRANCO, R. A. R., FEITOSA, D. G. e MACHADO, L. S. *Qualidade da Água para uso em Irrigação na Microbacia o Córrego do Cinturão Verde,* **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada** v.5, p 68–74, 2011.

NAKAYAMA, F. S. **Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging**. In: Pro. Irrigation Association Conference, Portland, Oregon. 1982.

NIEWEGLOWSKI, A. M. A. **Indicadores de Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Toledo – PR**, Curitiba. 2006.

OLIVEIRA, J. B. **Classificação de solos e seu emprego agrícola e não agrícola**. 17p., 2008, Disponível em: http://jararaca.ufsm.br/websites/dalmolin/download/ textospl/classif.pdf (acessado em 17/07/2013).

OLIVEIRA, M.; MAIA, C. E. Qualidade FÍsico-Química da Água para Irrigação e m Diferentes Aquíferos na Área Sedimentar do Estado d o Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.17-21, 1998.

OPOKU-DUAH, S., KANKAM-YEBOAH, K. e MENSAH, F. K. **Water Quality for Irrigation-Rice-Based Cropping System in the Oda River Valley Bottom at Besease**, vol.39, Ghana, 1997.

PAULINO, W. D. **Qualidade da Água para Ir rigação** , Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, Estado de Ceará. 2008.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos.** Madrid: Editorial Española, 1985. p 542.

QUEIROZ, A. M. **Caracterização limnológica do lagamar do Cauípe – Planície Costeira do município de Caucaia – CE**. 2003. 204 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, CE, 2003.

QUEIROZ, J. E., GONÇALVES, A. C. A., SOUTO, J. S., FOLEGATTI, M. V. *Avaliação e Monitoramento da Salinidade do Solo.* In: **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados** . Fortaleza, INCT Sal, p. 63 – 82, 2010.

QUILIS, R. O; HOOGMOED, M; ERTSEB, M.; FOPPEN, J.W. *Measuring and modeling hydrological processes of sand-storage dams on different spatial scales*. **Physics and chemistry of the earth**, p. 289-298, 2008.

RICHARDS, L.A. (ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Salinity Laboratory. Agriculture Handbook, 60. p160, 1954.

SANTOS, P.T.S. **Balanço Hídrico em Teto com Cobertura Vegetal no Semiárido Pernambucano**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco. Recife: O Autor, 2011. 86 p.

SCHUSTER, H. D. M.; OLIVEIRA, P. R. S.; KOCH, U. Estudo Hidrogeoló gico de um Aqüífero Aluvial com Barragens Subterrâneas na Região de Santa Luzia- Paraíba. Porto Alegre, RS. **Anais**... p. 30-37, 1990.

SCHUSTER, H. D. M.; SRINIVASAN, V. S. *Uma Investigação dos Efeitos Hidráulicos de Barragens Subterrâneas em um Aqüífero Al uvial na Região Semi -Árida da Paraíba* , **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Vol. 9, n.3, p 55-68, 2004.

SECTMA – Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (Pernambuco). **Barragens Subterrâneas - Pernambuco**. Recife, 1998. Escala 1:1.800.000. Disponível em < http://www.srhe.pe.gov.br/documentos/PDF_Mapas/RH/Barragens_Subterraneas.pdf> acesso em 2 de dezembro de 2013.

SELF, J. R. **Domestic Water Quality Criteria**, Colorado State University. 2010.

SILVA, L. P. *Transformações recentes na agropecuári a nordestina - a situação do agreste de Pernambuco*. In: Encontro Nacional de Geografia Agrária, XIX, 2009, São Paulo. **Anais**... São Paulo: 2009. pp. 1-26.

SILVA, F.J.; SILVA, J.R.C. *Produtividade de um Solo Litólico associada ao Controle da Erosão por Cord ões de Pedra em Contorno* . **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa, 21, p.435-440, 1997.

SILVA, B. B., BRAGA, A. C., BRAGA, C. C., OLIVEIRA, L. M. M., GALVÍNCIO, J. D., MONTENEGRO, S. M. G. L. *Evapotranspiração e estimativa da água consumida em perímetro irrigado do Semiárido brasileiro por sensoriamento remoto* . **Pesq. agropec. bras**., Brasília, v.47, n.9, p.1218-1226, 2012.

SOUZA, E. R., MELO, H. F., ALMEIDA, B. G., MELO, D. V. M. *Comparação de métodos de extração da solução do solo* . **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.510–517, 2013.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. *Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** , Brasília, DF, v. 40, p. 1135-1139, 2005.

UEHARA, K. *Estudos de Sistemas Alternativos para Armazenamento e Captação* . In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROL OGIA E RECURSOS HÍDRICOS. V.3, Fortaleza. – CE:. **Anais.,** p. 202-209, 1981.

UFV – Universidade Federal de Viçosa. **SAEG - Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

WALLER, P.L.; WILSON, G.C.S. *Evaluation of growing media for consumer use*. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 150, p. 51-58, 1984.

ZOBY, J. L. G. *Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil* . In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 2008, Natal – RN: **Anais.,** 20p.

ZUIN, V. G.; IORIATTI, M. C.; MATHEUS, C. E. *O Emprego de Parâmetros Físicos e Químicos para a Avaliação da Qualidade de Águas Natur ais.* **Química Nova na Escola**, v. 31 n. 1, 2009.