

RENATO DANTAS ALENCAR

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS NO
CALCÁRIO JANDAÍRA E RESTRIÇÕES NA AGRICULTURA IRRIGADA.**

MOSSORÓ-RN
2007

RENATO DANTAS ALENCAR

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS NO
CALCÁRIO JANDAÍRA E RESTRIÇÕES NA AGRICULTURA IRRIGADA.**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido, para
obtenção do título de Mestre em
Agronomia: Fitotecnia.

Orientador: D.Sc. JOSE FRANCISMAR DE MEDEIROS

MOSSORÓ-RN
2007

**Ficha catalográfica preparada pelo setor de classificação e
catalogação da Biblioteca “Orlando Teixeira” da UFERSA**

A368m Alencar, Renato Dantas.

Monitoramento da qualidade da água de poços no calcário
Jandaíra e restrições na agricultura irrigada / Renato Dantas
Alencar. -- Mossoró: 2007.

71f.: il.

Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade
Federal Rural do Semi-Árido.

Área de Concentração: Agricultura tropical

Orientador: Prof^a. Dr. José Franscimar de Medeiros.

Co-Orientador: Maurício de Oliveira

1.Qualidade da água. 2.Salinidade. 3.Chapada do Apodi.
I. Título.

CDD: 631.7

Bibliotecária: Margareth M. Figueiredo Dias Furtado
CRB-4/1446

RENATO DANTAS ALENCAR

**MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA DE POÇOS NO
CALCÁRIO JANDAÍRA E RESTRIÇÕES NA AGRICULTURA IRRIGADA.**

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido, para
obtenção do título de Mestre em
Agronomia: Fitotecnia.

APROVADA EM: __/__/__

BANCA EXAMINADOURA

Prof. D.Sc. Jose Francismar de Medeiros
Presidente

D.Sc. Neyton de Oliveira Miranda
Primeiro Membro

D.Sc. José Simplício de Holanda
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

A Deus, que em sua bondade e sabedoria me deu paciência, forças e perseverança para vencer todos os obstáculos impostos no transcorrer desta caminhada.

A minha família, pelo incentivo, apoio e compreensão principalmente nos momentos de dificuldades.

A ESAM/ UFERSA, pela formação acadêmica e pela oportunidade de concluir este Curso de Mestrado.

Ao professor José Francismar de Medeiros, pela orientação, disponibilidade e dedicação na realização deste trabalho.

Aos membros da banca, Professores Neyton Miranda e José Simplício de Holanda, pelas correções e valiosas contribuições para o aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao professor/Coordenador Francisco Bezerra Neto, por ter sido o grande apoiador na realização desse trabalho.

Aos meus professores e ex-professores, sobretudo Odaci Fernandes, Miltom Mendes, Francisco Porto Filho e Sólon nesta realização.

Aos amigos e colaboradores Helio Junior, Marcio, Romeu, Django, Gleidson, Silvinha, Ernildo, Abílio, Aluízio, Ludmila e Mariza, enfim, as turmas dos Mestrados de Fitotecnia e Irrigação, pela amizade e companheirismo nos momentos que passamos de estudos, lutas e alegrias.

Ao funcionário Sr. Elídio, grande lutador e instrutor do Laboratório de Solos.

Aos motoristas da UFERSA, que muito contribuíram para a coleta dos dados de campo.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. Caracterização dos aquíferos da Região da Chapada do Apodi	13
2.2. Qualidade da água de irrigação	15
2.3. Classificação das águas	21
2.4. Uso de águas de qualidade inferior na irrigação.....	24
2.5. Efeito dos sais sobre as plantas.....	28
2.6. Técnicas de manejo para controlar os efeitos da salinidade	31
3 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. Região de abrangência do estudo.....	33
3.2. Coleta das amostras.....	34
3.3. Análise das águas.....	34
3.4. Classificação das águas para irrigação.....	35
3.5. Análises estatísticas.....	36
3.6. Elaboração dos mapas.....	36
3.7. Seleção das culturas e estabelecimento do manejo de irrigação em função da qualidade da água existente	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5 CONCLUSÕES	62
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -	Diretrizes para interpretar qualidade da água de irrigação, segundo Ayers & Westcot, 1985.	20
Tabela 02 -	Nível dinâmico médio (m) por localidade nas diferentes épocas de coleta.	39
Tabela 03-	Estatísticas da vazão, nível dinâmico, nível estático, profundidade, potência instalada geral da água de irrigação por localidades, em Mossoró, Baraúna e Mata Fresca (Aracati/CE) em jul/2005.	45
Tabela 04 -	Características físico-químicas da água de irrigação por localidade, em Mossoró, Baraúna e Aracati no Estado do CE referente à 1ª coleta (jul-set2005).	50
Tabela 05 -	Características físico-químicas da água de irrigação por localidade, em Mossoró, Baraúna e Aracati no Estado do CE referente à 4ª coleta (dez 2006 a jan 2007).	50
Tabela 06-	Relação entre diferentes características da água de irrigação na 1ª e 4ª coletas.	51
Tabela 07-	Condutividade Elétrica média (dS m^{-1}) por localidade nas diferentes épocas de coleta.	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -	Mapa indicando a localização dos poços onde se coletou as amostras de água.....	34
Figura 02 -	Frequência relativa do nível dinâmico dos poços nas diferentes épocas.....	38
Figura 03 -	Mapas representando o comportamento do nível dinâmico em (m), das localidades de Gangorra, Califórnia, Pau Branco, Posto Fiscal e Mata Fresca nas diferentes épocas, A) 1ª coleta jul/05; B) 2ª Coleta dez/ 05; C) 3ª Coleta jul/ 06; D) 4ª Coleta dez/ 06.....	39
Figura 04 -	Mapas representando o comportamento do nível dinâmico (ND) em m, das localidades de Baraúna nas diferentes épocas, A) 2ª Coleta dez/ 05; B) 3ª Coleta jul/ 06; C) 4ª Coleta dez/ 06	40
Figura 05 -	Mapa do comportamento da altitude das localidades de Gangorra, Califórnia, Pau Branco, Posto Fiscal e Mata Fresca.....	41
Figura 06-	Mapas representando a altitude (m) nos Assentamentos Poço Baraúna, Catingueira e Olho D'água da Escada do Município de Baraúna.....	42
Figura 07-	Frequência relativa e acumulada da potência instalada dos poços.....	43
Figura 08 -	Frequência relativa e acumulada da vazão de um total de 29 poços.....	44
Figura 09 -	Frequência relativa e acumulada da profundidade dos poços de um número total de 35 poços.....	44
Figura 10 -	Mapas representando o comportamento da condutividade elétrica em dS/m, das localidades de Gangorra, Califórnia, Pau Branco, Posto fiscal e Mata Fresca nas diferentes épocas, A) 1ª Coleta jul/05; B) 2ª Coleta dez/ 05; C) 3ª Coleta jul/ 06; D) 4ª Coleta dez/ 06.....	55
Figura 11 -	Mapas representando o comportamento da condutividade elétrica em dS/m, das localidades de Baraúna nas diferentes épocas, A) 2ª Coleta dez/ 05; B) 3ª Coleta jul/ 06; C) 4ª Coleta dez/ 06.....	56
Figura 12-	Frequência relativa da condutividade elétrica das águas dos poços nas diferentes épocas de coleta.....	58
Figura 13-	Comportamento da CEes em função da CEa e da fração de lixiviação aplicada através de método de irrigação convencional.....	58
Figura 14-	Comportamento da CEes em função da CEa e da fração de lixiviação aplicada através de método de irrigação de alta frequência.....	60

RESUMO

ALENCAR, R. D. **Monitoramento da qualidade da água de poços no Calcário Jandaíra e restrições na agricultura irrigada.** 2007. 67f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-árido.

O monitoramento/avaliação das características hidrodinâmicas e qualidade da água de irrigação dos poços do aquífero situado no calcário da formação Jandaíra é de grande importância para a fruticultura da Chapada do Apodi. Com esse objetivo realizou-se um trabalho utilizando os resultados de 50 análises completas (CEa, pH e níveis de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- e CO_3^{2-}) de amostras d'água de diversas localidades, inseridas nos municípios de Mossoró-RN, Baraúna-RN e Aracati-CE, coletadas nos períodos de pós chuvas e final da estiagem dos anos de 2005 e 2006. As localidades apresentaram valores de salinidade, composição da água e riscos de obstrução específicos e diferenciados, com variações também em função da época do ano (chuvas). Os poços apresentaram nível dinâmico médio de 18 m. Dentro da mesma localidade, as águas apresentaram pequena variabilidade no índice de salinidade, no entanto, entre os poços das diferentes localidades ocorreram variações significativas, verificando-se valores absolutos entre 1,15 e 4,41 dS m^{-1} . As águas indicaram ligeira, moderada e severa restrição devido à toxicidade do cloreto, podendo afetar o rendimento das culturas sensíveis a moderadamente sensíveis. As análises revelaram também existir baixa sodicidade e elevada alcalinidade, com todas as águas apresentando ligeiro a moderado risco de obstrução. Considerando a tolerância das culturas à salinidade, há necessidade de se selecionar espécies diferentes para ser cultivada em cada localidade e em função método de irrigação que irá ser adotado.

Palavras chave: Qualidade de água, Salinidade, Chapada do Apodi

ABSTRACT

ALENCAR, R. D. **Well water quality monitoring in the Jandaíra Formation limestone base and restrictions to irrigated agriculture.** 2007. 67f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-árido.

The monitoring/evaluation of the irrigation water hydrodynamic characteristics and quality from wells on area of the aquifer of the Jandaira formation limestone base is of great importance for the fruit crops of the Chapada do Apodi. With this objective an evaluation was carried out on the results of 50 complete analyses (ECw, pH and levels of Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ and CO₃²⁻) of water samples from several localities inserted in the municipalities of Mossoró-RN, Baraúna-RN and Aracati-CE, Northeast Brazil, collected at the end of the rainfall seasons and at the end of the dry seasons of 2005 and 2006. The values of salinity indexes, water composition and obstruction risk indexes were specific within localities and differentiated among localities, also with variations in function of the period of the year (rainfall season). The dynamic level of wells averaged 18m. Within the same locality the waters varied little with respect to salinity index, however, among the wells of the different localities variations were significant, with absolute values ranging from 1.15 to 4.41 dS m⁻¹. The waters were of low, moderate and severe with regards to restriction due to chloride toxicity, which might affect the yield of sensitive and moderate sensitive crops. The analyses revealed also that the waters have low sodicity and high alkalinity indexes and present low to moderate obstruction risk.

Keywords: Water quality, Salinity, Chapada do Apodi

1. INTRODUÇÃO

Desde a pré-história, a água tem sido fundamental e determinante para localização dos aglomerados humanos, como também fator decisivo na evolução e desenvolvimento de uma região e/ou civilização. A água é um recurso natural renovável essencial à vida animal e vegetal, constituindo um fator fundamental e limitante na produção de alimentos.

A região do semi-árido brasileiro caracteriza-se pela escassez de água, por apresentar altas temperaturas durante todo o ano, e, aliado a isso, o sistema pluviométrico é caracterizado por apresentar grande variabilidade e irregularidade, no tempo e no espaço, resultando em grande evapotranspiração e em um balanço hídrico negativo, tornando indispensável o aporte de água através da irrigação, para que a maioria das culturas possa produzir satisfatoriamente. O Nordeste brasileiro possui um potencial médio anual de 60 milhões de m³ de água nos aquíferos (SUDENE, 1980b), e parte dessa água é utilizada para a irrigação, mas a deficiência de recursos hídricos pode ser considerada o principal fator que limita a produção agrícola.

Ao longo dos anos, a agricultura irrigada vem se confirmando como atividade econômica viável no semi-árido brasileiro, com destaque neste contexto a Região da Chapada do Apodi, que possui uma área de 5.200 km², que corresponde aproximadamente a 10% da área do Estado do Rio Grande do Norte. Hoje estão implantados nessa Região grandes projetos de irrigação públicos, como o Projeto DIJA (Limoeiro do Norte-CE), e projetos privados com grandes empresas nacionais e internacionais consolidando empreendimentos nesta região.

Estes projetos demandam grandes volumes de água, que são supridos em sua maioria pelas águas fluviais dos rios Jaguaribe/ CE e pelas águas subterrâneas dos aquíferos Arenitos Açu e Calcário Jandaíra.

Vários produtores utilizam na irrigação das culturas águas de qualidade inferior, em especial as oriundas de algumas regiões hidrogeoquímicas do aquífero Calcário Jandaíra. Para que as culturas irrigadas com águas de qualidade inferior mantenham produções satisfatórias são necessários cuidados especiais e manejo adequado no sistema solo-água-planta.

As águas que se destinam à irrigação devem ser avaliadas principalmente sob três aspectos: salinidade, sodicidade, toxicidade de íons e risco de obstrução ou corrosão dos equipamentos, variáveis fundamentais para a determinação da qualidade agronômica da água

(Holanda & Amorim, 1997), pois o tipo e a quantidade destes elementos são determinantes na composição química e estrutura do solo.

O aquífero Jandaíra apresenta águas com concentrações de sais relativamente elevadas, podendo ser superior a 2000 mg L^{-1} ($3,0 \text{ dS m}^{-1}$). Neste caso, sua utilização fica condicionada à tolerância das culturas à salinidade e ao manejo da irrigação, com vistas ao controle da salinização dessas áreas (MEDEIROS, 1992; OLIVEIRA & MAIA, 1998).

Sendo a maioria das culturas exploradas na região classificadas como sensíveis a moderadamente sensíveis à salinidade, surge a necessidade de melhor caracterizar estas águas, para se estabelecer o manejo adequado das plantas, solo e sistemas de irrigação.

Com isso, o presente trabalho teve como objetivo monitorar sistematicamente durante dois anos a evolução da qualidade da água e de características hidrodinâmicas de poços no aquífero Calcário Jandaíra utilizados para irrigação, localizados nos municípios de Mossoró, Baraúna, e vizinhos a estes, Aracati, no estado do Ceará, contribuindo para o estabelecimento do panorama hidrogeoquímico das águas subterrâneas da região e, conseqüentemente, planejar de forma adequada o uso das culturas e o manejo da irrigação.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Caracterização dos aquíferos da Região da Chapada do Apodi

A quantidade de águas subterrâneas da terra ($10.360.230 \text{ km}^3$) é aproximadamente 100 vezes mais abundante que as águas superficiais dos rios e lagos (92.168 km^3). Embora elas se encontrem armazenadas nos poros e fissuras milimétricas das rochas, estas ocorrem em grandes extensões, gerando grandes volumes de águas subterrâneas na ordem de, aproximadamente, 23.400 km^3 , distribuídas em uma área aproximada de 134,8 milhões de km^2 (SHIKLOMANOV, 1998).

A litologia do aquífero, ou seja, a sua constituição geológica (porosidade/permeabilidade intergranular ou de fissuras) é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade e a sua quantidade como reservatório. Essa litologia é decorrente da sua origem geológica, que pode ser fluvial, lacustre, eólica, glacial e aluvial (rochas sedimentares), vulcânica (rochas fraturadas) e metamórfica (rochas calcária), determinando os diferentes tipos de aquíferos. Quanto à porosidade, existem três tipos de aquífero: poroso, fissural e cárstico (LEAL, 1999; BORGUETTI et al., 2004). Os sistemas porosos constituem-se de rochas sedimentares; os fissurados, de rochas cristalinas e cristalofilianas; e os cársticos, de rochas carbonáticas com fraturas e outras discontinuidades submetidas a processos de dissolução cárstica (LEAL, 1999).

No Brasil, as reservas de água subterrânea são estimadas em 112.000 km^3 (112 trilhões de m^3) e a contribuição multianual média à descarga dos rios é da ordem de $2.400 \text{ km}^3.\text{ano}^{-1}$ (MMA, 2003). Porém, nem todas as formações geológicas possuem características hidrodinâmicas que possibilitem a extração econômica de água subterrânea para atendimento de médias e grandes vazões pontuais (BORGUETTI et al., 2004). As vazões já obtidas por poços no Brasil variam desde menos de $1 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ até mais de $1.500 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ (SUASSUNA, 2001).

A Região Nordeste do Brasil possui algumas bacias hidrográficas de grande importância. Dentre elas destaca-se a Bacia Sedimentar Potiguar. Segundo BRASIL (1981), a Bacia Potiguar situa-se no Nordeste brasileiro, ocupando parte dos Estados do Rio Grande do Norte e do Ceará. A forma geométrica geral da seqüência sedimentar é uma cunha que se espessa para o norte em direção ao mar, atingindo espessuras superiores a 1.000 metros.

As características geológicas e estruturais da região são responsáveis pela geometria e extensão dos aquíferos, formando dois sistemas importantes: o Arenito Açu, cuja espessura

média da camada aquífera varia entre 180 e 400m (SUDENE, 1980A), e o Calcário Jandaíra, cuja espessura varia entre 65 e 396m (BRASIL, 1981), formando um aquífero livre, onde as águas subterrâneas estão em contato e são equilibradas pela pressão atmosférica (SUDENE, 1980B), o que o torna mais susceptível a contaminação por agrotóxicos.

Estudos realizados a partir das características dimensionais e hidrodinâmicas dos aquíferos Arenito Açu e no Calcário Jandaíra permitiram uma estimativa das reservas de água da região que é da ordem de $300 \times 10^9 \text{ m}^3$, sendo $180 \times 10^9 \text{ m}^3$ no Calcário Jandaíra e $120 \times 10^9 \text{ m}^3$ no Arenito Açu. Com vazões sem comprometimento dos aquíferos, são $160 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ e $5 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ para a formação Jandaíra e Açu, respectivamente (REBOUÇAS et al., 1967).

As águas provenientes dos poços do Arenito Açu são mais abundantes com vazão média de $100 \text{ m}^3/\text{h}$ e de excelente qualidade, contudo com alto custo energético para a sua obtenção devido à profundidade dos poços. As vazões dos poços do Calcário Jandaíra são em média de $53 \text{ m}^3/\text{h}$ (LISBOA, 2000), com custos para a obtenção menores, pois os poços são mais rasos, contudo, a qualidade da água é inferior, apresentando concentração de sais relativamente elevadas, chegando a ser superior a 2000 mg/l ($3,0 \text{ dS/m}$) (MEDEIROS, 1992; OLIVEIRA & MAIA, 1998), sendo observados níveis de concentração de sais mais elevados na época de estiagem (COSTA, 1982; LARAQUE, 1989; MEDEIROS, 1992; MEDEIROS e GHEYI, 1997 e SILVA JÚNIOR et al., 1999).

Com isso, o aquífero mais explorado para irrigação de culturas na Chapada do Apodi é o Calcário Jandaíra, com poços de profundidade média variando de 50 a 150 m (SERHID, 2005).

A alimentação deste sistema é realizada a partir de três fontes principais: i) infiltrações diretas das águas das chuvas que caem no domínio do afloramento destes terrenos; ii) participação dos rios, processo ainda incerto; iii) fonte de contribuição representada pelas filtrações verticais através do nível confinante do aquífero da formação Açu. Este fenômeno se verifica desde que a pressão reinante no aquífero confinado torna-se superior ao peso da coluna de água armazenada no sistema aquífero livre (REBOUÇAS et al., 1967).

Na zona oeste do Rio Grande do Norte, o município de Baraúna é um dos principais pólos de produção de frutas, produzindo mais da metade da safra de melão do estado, porém nos últimos anos vem ocorrendo diminuição do nível de água dos seus poços, comprometendo a economia na cidade (AZEVEDO & FREITAS, 2003). Esta situação é resultado da exploração sem controle da reserva subterrânea do calcário Jandaíra (SERHID, 2003 e 2004).

Estudos da qualidade das águas de irrigação do município de Baraúna têm revelado poucas variações entre os períodos seco e chuvoso durante o mesmo ano (MEDEIROS et al., 2003), no entanto, inexistem informações em maiores períodos a médio e longo prazo.

2.2. Qualidade da água de irrigação

As características principais que determinam a qualidade da água de irrigação são: a) concentração total de sais solúveis; b) proporção relativa de sódio e de outros cátions; c) concentração de elementos tóxicos como o boro e d) concentração de bicarbonatos relacionados com cálcio e magnésio (CRUCIANI, 1987). Além dessas características, Bernardo et al. (2005) acrescenta o aspecto sanitário e o aspecto de entupimento de emissores (irrigação localizada).

Para que se possa fazer correta interpretação da qualidade da água para irrigação, os parâmetros analisados devem estar relacionados com seus efeitos no solo, nas culturas e no manejo da irrigação, os quais serão necessários para controlar ou compensar os problemas relacionados com a qualidade da água (Bernardo et al., 2005).

A variação na composição e qualidade das águas destinadas à irrigação depende da zona climática, fonte da água, trajeto percorrido, época do ano, geologia da região e manejo adotado na irrigação (CRUZ et al., 2003).

A qualidade da água de irrigação, segundo o tipo e a quantidade de sais dissolvidos, pode variar significativamente de um lugar para outro, como também com o tempo. Os sais encontram-se em quantidades relativamente pequenas, porém, significativas, tendo sua origem na intemperização das rochas e dissolução lenta do gesso, calcário e de outros minerais.

As águas subterrâneas tendem a ser mais ricas em sais dissolvidos do que as águas superficiais. As quantidades presentes refletem não somente os substratos rochosos percolados, mas variam também em função do comportamento geoquímico dos compostos químicos envolvidos. Como há sensíveis variações nas composições químicas das rochas, é de se esperar certa relação entre a composição da água e das rochas preponderantes na área. (PEDROSA & CAETANO, 2002).

Os principais e mais freqüentes constituintes iônicos contidos nas águas subterrâneas segundo Pedrosa & Caetano (2002) são os seguintes:

a) Cálcio (Ca^{+}) - O teor de cálcio nas águas subterrâneas varia, de uma forma geral, de 10 a 100 mg.L^{-1} . As principais fontes de cálcio são os plagioclásios cálcicos, calcita, dolomita,

apatita, entre outros. O carbonato de cálcio é muito pouco solúvel em água pura. O cálcio ocorre nas águas na forma de bicarbonato e sua solubilidade está em função da quantidade de gás carbônico dissolvido. A quantidade de CO_2 dissolvida depende da temperatura e da pressão, que são, portanto, fatores que vão determinar a solubilidade do bicarbonato de cálcio.

b) Cloretos (Cl^-) - O cloro está presente em teores inferiores a 100 mg.L^{-1} . Forma compostos muito solúveis e tende a se elevar, junto com o sódio, a partir das zonas de recarga das águas subterrâneas. Teores anômalos são indicadores de contaminação por água do mar e por aterros sanitários.

c) Ferro (Fe^2+) - É um elemento persistentemente presente em quase todas as águas subterrâneas em teores abaixo de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$. Suas fontes são minerais escuros (máficos) portadores de Fe: magnetita, biotita, pirita, piroxênios, anfibólios. Em virtude de afinidades geoquímicas quase sempre é acompanhado pelo Manganês. O ferro no estado ferroso (Fe^{2+}) forma compostos solúveis, principalmente hidróxidos. Em ambientes oxidantes o Fe^{2+} passa a Fe^{3+} dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, tingindo fortemente a água. Desta forma, águas com alto conteúdo de Fe, ao saírem do poço são incolores, mas ao entrarem em contato com o oxigênio do ar ficam amareladas.

d) Magnésio (Mg^{2+}) - O magnésio é um elemento cujo comportamento geoquímico é muito parecido com o do cálcio e, em linhas gerais, acompanha este elemento. Diferentemente do cálcio, contudo, forma sais mais solúveis. Nas águas subterrâneas ocorrem teores entre 1 e 40 mg.L^{-1} . O magnésio, depois do cálcio, é o principal responsável pela dureza das águas. Na água do mar o magnésio ocorre em teores de cerca 1400 mg.L^{-1} , bem acima do teor de cálcio (cerca de 480 mg.L^{-1}). Em águas subterrâneas de regiões litorâneas, a alta relação Mg/Ca é o fator que caracteriza a contaminação por água marinha.

e) Manganês (Mn^{2+}) - É um elemento que acompanha o ferro em virtude de seu comportamento geoquímico. Ocorre em teores abaixo de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$, quase sempre como óxido de manganês bivalente, que se oxida em presença do ar, dando origem a precipitados negros.

f) Nitrato (NO_3^-) - Nas águas subterrâneas os nitratos ocorrem em teores em geral abaixo de 5 mg.L^{-1} . Nitritos e amônia são ausentes, pois são rapidamente convertidos a nitrato pelas bactérias. Pequeno teor de nitrito e amônia é sinal de poluição orgânica recente. Segundo o padrão de potabilidade da OMS (Organização Mundial de Saúde), uma água não deve ter mais do que 10 mg.L^{-1} de NO_3 .

g) Potássio (K^+) - O potássio é um elemento químico abundante na crosta terrestre, mas ocorre em pequena quantidade nas águas subterrâneas, pois é facilmente fixado pelas

argilas e intensivamente consumido pelos vegetais. Suas principais fontes minerais são: feldspato potássico, mica moscovita e biotita, pouco resistentes aos intemperismo físico e químico. Nas águas subterrâneas seu teor médio é inferior a 10 mg.L^{-1} , sendo mais freqüente valores entre 1 e 5 mg.L^{-1} .

h) Sódio (Na^+) - O sódio é um elemento químico quase sempre presente nas águas subterrâneas. As principais fontes de sódio (feldspatos plagioclásios) são pouco resistentes aos processos intempéricos, principalmente os químicos. Os sais formados nestes processos são muito solúveis. Nas águas subterrâneas o teor de sódio varia entre 0,1 e 100 mg.L^{-1} , sendo que há um enriquecimento gradativo deste metal a partir das zonas de recarga. A quantidade de sódio presente na água é um fator limitante para uso na agricultura. Em aquíferos litorâneos, a presença de sódio na água poderá estar relacionada à intrusão da água do mar. Segundo a OMS, o valor máximo recomendável de sódio na água potável é 200 mg.L^{-1} .

As propriedades físicas da água subterrânea segundo Pedrosa & Caetano (2001) são definidas da seguinte forma:

a) Temperatura - As águas subterrâneas têm uma amplitude térmica pequena, isto é, sua temperatura não é influenciada pelas mudanças da temperatura atmosférica. Exceções são os aquíferos freáticos pouco profundos. Em profundidades maiores a temperatura da água é influenciada pelo grau geotérmico local (em média 1°C a cada 30 m).

b) Cor - A cor de uma água é consequência de substâncias dissolvidas. Quando pura, e em grandes volumes, a água é azulada. Quando rica em ferro, é arroxeadada. Quando rica em manganês, é negra e, quando rica em substâncias húmicas é amarelada. A medida da cor de uma água é feita pela comparação com soluções conhecidas de platina-cobalto ou com discos de vidro corados calibrados com a solução de platina-cobalto. Uma unidade de cor corresponde àquela produzida por 1 mg.L^{-1} de platina, na forma de íon cloroplatinado. Para ser potável uma água não deve apresentar nenhuma cor de considerável intensidade. Segundo a OMS o índice máximo permitido deve ser 20 mg Pt.L^{-1} .

c) Odor e Sabor - Odor e sabor são duas sensações que se manifestam conjuntamente, o que torna difícil sua separação. O odor e o sabor de uma água dependem dos sais e gases dissolvidos. Em geral as águas subterrâneas são desprovidas de odor. Algumas fontes termais podem exalar cheiro de ovo podre devido ao seu conteúdo de H_2S (gás sulfídrico). Da mesma maneira águas que percolam matérias orgânicas em decomposição (turfa, por exemplo) podem apresentar H_2S .

d) Turbidez - É a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água. A turbidez é causada por matérias sólidas em suspensão (silte, argila,

colóides, matéria orgânica, etc.). Os valores são expressos em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT). Segundo a Organização Mundial da Saúde-OMS o limite máximo de turbidez em água potável deve ser 5 UNT. As águas subterrâneas normalmente não apresentam problemas devido ao excesso de turbidez. Em alguns casos, águas ricas em íons Fe, podem apresentar uma elevação de sua turbidez quando entram em contato com o oxigênio do ar.

e) Sólidos em Suspensão - Corresponde à carga sólida em suspensão e que pode ser separada por simples filtração ou mesmo decantação. As águas subterrâneas em geral não possuem sólidos em suspensão e quando um poço está produzindo água com significativo teor de sólidos em suspensão é geralmente como consequência de mau dimensionamento do filtro e/ou do pré-filtro. Em aquíferos cársticos e fissurais as aberturas das fendas podem permitir a passagem das partículas mais finas (argila, silte) aumentando assim o conteúdo de sólidos em suspensão.

f) Condutividade Elétrica - Os sais dissolvidos e ionizados presentes na água transformam-na num eletrólito capaz de conduzir a corrente elétrica. Como há uma relação de proporcionalidade entre o teor de sais dissolvidos e a condutividade elétrica, pode-se estimar o teor de sais pela medida de condutividade de uma água, ou seja, quando a condutividade é conhecida o seu teor salino é de aproximadamente dois terços desse valor. As unidades usadas nas medidas de condutividade são o micro mho por centímetro (mmho.cm^{-1}), micro Siemens por centímetro (mS.cm^{-1}), do Sistema Internacional de Unidades e deciSiemens por metro (dS. m^{-1}).

g) Dureza - A dureza é definida como a dificuldade de uma água em dissolver (fazer espuma) sabão pelo efeito do cálcio, magnésio e outros elementos como Fe, Mn, Cu, Ba. A dureza pode ser expressa como dureza temporária, permanente e total. Dureza temporária ou de carbonatos se deve à combinação dos íons de cálcio e de magnésio com íons bicarbonato e carbonatos na presença de aquecimento; os compostos formados podem ser eliminados através de fervura; já a dureza permanente se deve à combinação dos íons de cálcio e magnésio com íons de sulfato, cloreto, nitratos e outros, dando origem a compostos solúveis que não podem ser retirados pelo aquecimento; e a dureza total é a soma da dureza temporária com a permanente. A dureza é expressa em miligrama por litro (mg L^{-1}) ou milimol carga por litro (mmolc.L^{-1}) de CaCO_3 (carbonato de cálcio), independentemente dos íons que a estejam causando.

h) Alcalinidade - É a medida total das substâncias presentes numa água, capazes de neutralizarem ácidos. Em outras palavras, é a quantidade de substâncias presentes numa água

e que atuam como tampão. Se numa água quimicamente neutra ($\text{pH}=7$) for adicionada pequena quantidade de um ácido fraco seu pH mudará instantaneamente. Numa água com certa alcalinidade a adição de uma pequena quantidade de ácido fraco não provocará a alteração de seu pH, porque os íons presentes irão neutralizar o ácido. Em águas subterrâneas a alcalinidade é devida principalmente aos carbonatos e bicarbonatos e, secundariamente, aos íons hidróxidos, silicatos, boratos, fosfatos e amônia. Alcalinidade total é a soma da alcalinidade produzida por todos estes íons presentes numa água. Águas que percolam rochas calcárias (calcita = CaCO_3) geralmente possuem alcalinidade elevada. Granitos e gnaisses, rochas comuns em muitos estados brasileiros, possuem poucos minerais que contribuem para a alcalinidade das águas subterrâneas. A alcalinidade total de uma água é expressa em mg.L^{-1} de CaCO_3 .

i) pH - É a medida da concentração de íons H^+ na água. O balanço dos íons hidrogênio e hidróxido (OH^-) determinam o quão ácida ou básica ela é. Na água quimicamente pura os íons H^+ estão em equilíbrio com os íons OH^- e seu pH é neutro, ou seja, igual a 7. Os principais fatores que determinam o pH da água são o gás carbônico dissolvido e a alcalinidade. O pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5.

j) Sólidos Totais Dissolvidos (STD) - É a soma dos teores de todos os constituintes minerais presentes na água. A medida de condutividade elétrica, multiplicada por um fator que varia entre 0,55 e 0,75, fornece uma boa estimativa do STD de uma água subterrânea. Segundo o padrão de potabilidade da OMS, o limite máximo permissível de STD na água é de 1000 mg.L^{-1}

De acordo com Silva Filho et al. (2000), Cordeiro (2001) e Cruz et al. (2003) a Condutividade Elétrica da água (CE), que representa uma medida indireta da concentração total de sais solúveis, e a Razão da Adsorção de Sódio (RAS) constituem os principais indicadores da classificação e qualidade das águas para a irrigação. Na região Nordeste do Brasil as águas de irrigação apresentam de forma geral, independentemente de sua origem, boa qualidade e não apresentam maiores problemas para a irrigação sob condições adequadas de manejo, com algumas exceções, os valores de CE são abaixo de $0,75 \text{ dS.m}^{-1}$ e percentual de sódio abaixo de 60%.

Segundo Rhoades et al. (2000), para se identificar os níveis de salinidade de água, é necessário que se disponha de um esquema de classificação, sugerindo a seguinte classificação: água não salina – $\text{CE} < 0,7 \text{ dS/m}$, ligeiramente salina – CE entre 0,7 e $2,0 \text{ dS/m}$, moderadamente salina – CE entre 2 e 10 dS/m , altamente salina – CE entre 10 e 25 dS/m e excessivamente salina – CE entre 25 e 45 dS/m .

Bernardo et al. (2005) afirmam que existem vários modelos de classificação da água de irrigação, entre eles destaca-se a classificação proposta pelo laboratório de salinidade dos Estados Unidos e a classificação proposta por Ayers e Westcot (1985). Na Tabela 1 seguem os respectivos modelos de classificação:

Tabela 1. Diretrizes para interpretar qualidade da água de irrigação, segundo Ayers & Westcot, 1985:

Problema Potencial	Unidade	Grau de restrição para uso		
		Nenhuma	Ligeira a moderada	Severa
Salinidade				
CEa	dS/m	<0,7	0,7-3,0	>3,0
SDT	mg/l	<450	450-2000	>2000
Infiltração (CEaxRAS)				
RAS= 0 - 3 e CEa =		>1,7	0,7 – 0,2	<0,2
= 3 - 6		>1,2	1,2 - 3,0	<0,3
= 6 -12		>1,9	1,9 – 0,5	<0,5
= 12-20		>2,9	2,9 -- 1,3	<1,3
= 20- 40		>5,0	5,0 – 2,9	<2,9
Toxidade por íons				
Sódio				
Irrigação por superfície	RAS	<3	3 – 9	>9
Irrigação por aspersão	mmolc.L ⁻¹	<3	>3	
Cloreto				
Irrigação por superfície	mmolc.L ⁻¹	<4	4,0-10	>10
Irrigação por aspersão	mmolc.L ⁻¹	<3	>3	
		<0,7	0,7 – 3,0	>3,0
Nitrogênio	mmolc.L ⁻¹	<5,0	5,0 – 30	>3,0
Bicarbonato				
Aspersão	mmolc.L ⁻¹	<1,5	1,5 – 8,5	> 8,5
PH		Faixa normal: 6,5 – 8,4		

Quando não dispomos destes dados, segundo Medeiros et al. (1992), baseado na condutividade elétrica da água de irrigação CEa, e com o auxílio de análise de regressão, podemos estimar com boa precisão a soma de cátions (SCAT) ou ânions (SAN), as concentrações de cloreto, cálcio, cálcio mais magnésio e a relação de adsorção de sódio (RAS), como também a RAS ajustada e a corrigida.

Resultados semelhantes foram obtidos por Nunes Filho et al. (1997) e Martins et al. (1997), que observaram alta correlação entre a CEa e a concentração dos íons Na⁺, Ca²⁺+Mg²⁺ e Cl⁻, em mmolc L⁻¹.

Oliveira & Maia (1997) sugerem expressões através do estudo de correlação com a CE, para estimar a RAS ajustada e RAS corrigida a partir da RAS, apresentando uma alta precisão ($R^2 > 0,8$), dependendo do manancial onde a mesma é amostrada.

2.3. Classificação das águas

Segundo Richards (1954), para a classificação das águas deve-se levar em consideração a condutividade elétrica (CE), como indicadora do perigo de salinização dos solos, e a razão de adsorção de sódio (RAS), indicadora do perigo de alcalinização ou sodificação do solo.

Quanto à CE, tem-se:

C1- Água com salinidade baixa (CE entre 0 e 0,25, a 25 °C)

Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas e solos, com pouca probabilidade de ocasionar salinidade. Alguma lixiviação é necessária, mas isso ocorre nas práticas normais de irrigação, à exceção dos solos com permeabilidade extremamente baixa.

C2 - Água com salinidade média (CE entre 0,25 e 0,75 ds/m, a 25 °C).

Pode ser utilizada sempre que houver grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas, na maioria dos casos, sem práticas especiais de controle da salinidade.

C3 - Água com salinidade alta (CE entre 0,75 e 2,25 ds/m, a 25 °C).

Não pode ser empregada em solos com deficiência de drenagem. Mesmo naqueles com drenagem adequada, às vezes são necessárias práticas especiais para o controle da salinidade. Pode ser usada somente em plantas com boa tolerância aos sais.

C4 - Água com salinidade muito alta (CE entre 2,25 e 4,00 ds/m, a 25 °C).

Não é apropriada para irrigações sob condições normais, mas pode ser usada, ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais. Os solos deverão ser muito permeáveis e com drenagem adequada, devendo ser aplicado excesso de água nas irrigações para ter boa lixiviação. A água somente deve ser usada em culturas tolerantes aos sais.

Quanto à RAS:

SI - Água com baixa concentração de sódio ($RAS < 32,19 - 4,44 \log CE$)

Pode ser usada para irrigação com quase todos os tipos de solo, com pequena possibilidade de alcançar níveis indesejáveis de sódio trocável.

S2 - Água com concentração média de sódio

$(32,19 \cdot 4,44 \log CE < RAS < 51,29 - 6,66 \log CE)$

Só pode ser utilizada em solos de textura grossa ou em solos orgânicos com boa permeabilidade. Apresenta perigo de solidificação considerável em solos de textura fina, com grande capacidade de troca catiônica, especialmente sob baixa condição de lixiviação, a menos que haja gesso no solo.

S3 - Água com alta concentração de sódio

($51,29 - 6,66 \log CE < RAS < 70,36 - 8,87 \log CE$)

Pode produzir níveis maléficos de sódio trocável na maioria dos solos e requer práticas especiais de manejo, boa drenagem, alta lixiviação e adição de matéria orgânica. Em solos com muito gesso, a água pode não desenvolver níveis maléficos de sódio trocável, além de requerer o uso de corretivos químicos para substituir o sódio trocável, exceto no caso de apresentar salinidade muito alta, quando este uso não seria viável.

S4 - Água com alta concentração de sódio ($RAS > 70,36 - 8,87 \log CE$)

É geralmente imprópria para irrigação, exceto quando sua salinidade for baixa ou, em alguns casos, a média e a concentração de cálcio do solo ou o uso de gesso e outros corretivos tornarem o uso desta água viável.

De maneira geral, o processo de salinização pode ser evitado ou desacelerado caso ocorram precipitações pluviométricas concentradas em quantidades suficientes, associadas à boa permeabilidade do solo ou sistema de drenagem eficiente, promovendo assim uma lavagem natural do perfil. Todavia, sob condições de plantio em estufa, a lavagem natural é impossibilitada, passando o solo a se comportar de forma semelhante aos de regiões semi-áridas (MEDEIROS, 1998).

As águas de superfície têm sua composição influenciada pela evaporação e índice pluviométrico, já que as perdas por evaporação são responsáveis pela elevação progressiva das concentrações de sais. Águas com carbonatos em excesso podem trazer sérios prejuízos, principalmente quando se usa agricultura com irrigação localizada, pois o excesso de carbonatos provoca encrostamento nos equipamentos de irrigação e, conseqüentemente, causa entupimentos nas tubulações. As águas que apresentam restrições moderada e severa levam para o solo grande quantidade de sais via irrigação. Esses sais conseqüentemente se acumulam na zona radicular das plantas, e os seus teores aumentam a cada irrigação. Após uma irrigação o teor de sais próximo à superfície do solo é aproximadamente igual ao da água de irrigação e vai aumentando com a profundidade, pois os sais se concentram ali para serem levados para camadas mais profundas com as próximas irrigações e posteriormente lixiviados a maiores profundidades. Devido a isso é que existe a necessidade de se 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.

A adequação da água de irrigação não depende unicamente do teor total, mas também dos tipos de sais. À medida que o conteúdo total de sais aumenta, os problemas de solo e das culturas agravam-se, o que requer o uso de práticas especiais de manejo, para manter rendimentos aceitáveis. A qualidade da água e/ou sua adaptabilidade à irrigação radicular não afetam, assim, as culturas. Determinam-se, também, pela gravidade dos problemas que podem surgir depois do uso a longo prazo. Inúmeros são os problemas associados à qualidade da água de irrigação, quais sejam: salinidade, infiltração de água, toxicidade de íons específicos e outros problemas (AYERS & WESTCOT, 1991).

Os problemas de infiltração são facilmente visualizados, pois quando isso acontece, a água aplicada ao solo, seja artificialmente por irrigação ou naturalmente pela chuva, fica sobre o solo por um tempo relativamente longo, ou ainda ocorre uma infiltração muito lenta e conseqüentemente haverá redução na produção devido a cultura não receber a quantidade de água necessária, além disso, ainda ocorre formação de crostas superficiais e surgimento de problemas de germinação e emergência das plantas. Pode-se relacionar problemas de permeabilidade de água no solo no que se refere aos baixos teores de cálcio e magnésio, ou sódio alto, em virtude do sódio causar dispersão das argilas.

Os autores acima citados mencionam que se deve lembrar ainda que os problemas de toxicidade, no geral, complicam e complementam os problemas de salinidade e permeabilidade, pois a acumulação dos íons em concentrações tóxicas demora certo tempo e os sintomas visuais dos danos desenvolvem-se muito lentamente para serem notados, e o surgimento de tal problema dependerá do tempo, da concentração, da tolerância da cultura e do volume de água transpirada. Quando a proporção Ca/Mg na água da irrigação é menor que a unidade, os efeitos potenciais do sódio são ligeiramente maiores, em virtude da concentração. Mesmo para águas que não apresentam perigo de toxicidade, deve-se ter um manejo adequado, pois a toxicidade com os íons cloreto pode se manifestar mesmo quando esses íons se encontram em quantidades relativamente baixas. Os íons cloreto presentes na água de irrigação provocam com maior frequência toxicidade nas culturas, esses íons não são absorvidos pelas partículas do solo, porém, por serem muito móveis, são facilmente absorvidos pelas raízes das plantas e translocados até as folhas, onde se acumulam devido à

transpiração, sendo este problema mais intenso nas regiões de climas mais quentes, onde as condições ambientais favorecem uma alta transpiração (AYERS & WESTCOT, 1991).

O tipo de irrigação a ser utilizado também contribui para maior ou menor intensidade de absorção do cloreto, ou seja, quando da utilização do método de irrigação por aspersão a toxicidade é mais rápida, pois a absorção é realizada diretamente pelas folhas. Essa absorção pode ser afetada pela qualidade da água que está sendo usada na irrigação e também pela capacidade da planta em excluir o seu conteúdo no solo, o qual se controla com a lixiviação. Um problema que a presença de bicarbonato provoca é a possibilidade de formação de camada compactada no solo e conseqüentemente redução da infiltração e permeabilidade da água através do perfil. Isso ocorre por haver nas águas ricas em bicarbonato uma tendência de precipitação, principalmente do cálcio na forma de carbonato, à medida que a solução do solo se torna mais concentrada, aumentando o risco de sodicidade (AYERS & WESTCOT, 1991).

2.4. Uso de águas de qualidade inferior na irrigação

A maioria das fontes de água do Nordeste apresenta boa qualidade, contudo existem águas de qualidade inferior que podem ser utilizadas para irrigação. Neste caso, a utilização dessas águas fica condicionada à tolerância das culturas à salinidade e ao manejo da irrigação com vistas ao controle da salinização destas áreas (LEPRUN, 1983; MEDEIROS, 1992, MARTINS, 1993).

Os sais se originam da intemperização das rochas, inclusive da dissolução lenta do calcário, e são adicionados às camadas cultivadas dos solos através do carreamento das águas superficiais, da capilaridade de águas subterrâneas a baixas profundidades e das lâminas de irrigação, onde se acumulam na medida em que as águas se evaporam ou são consumidas pelas culturas (AYERS & WESTCOT, 1985).

Existem dois tipos de salinidade: a salinidade primária – concentração de sais na solução dos solos antes da ação antrópica – depende basicamente das condições edafoclimáticas. Já a salinização secundária – quase sempre fruto do manejo inadequado do solo e da água – constitui-se como água de qualidade duvidosa (com elevado riscos da salinidade e sodicidade). Adubos com elevados índices salinos (cloreto de potássio, nitrato de sódio ou salitre do Chile, nitrato de amônia), drenagem insuficiente, entre outros, são fatores determinantes na salinização secundária (GHEYI, 1997).

Sais de elementos alcalinos e alcalino-terrosos tendem a se acumular no solo devido à ascensão capilar do lençol freático e evaporação da água, na ausência de lixiviação. Os ventos e as inundações também interferem neste processo, carregando sais encrostados na superfície de solos altamente salinos para outras áreas e as inundações de áreas cultivadas pela água do mar devido à maré alta podem ser a causa da salinização de um solo (BLANCO, 1999).

A salinização secundária está geralmente associada ao manejo inadequado da irrigação e ocorre geralmente em áreas áridas e semi-áridas. Os principais fatores responsáveis pela salinização dos solos em áreas irrigadas no semi-árido são: a) uso de água de irrigação com alta concentração salina; b) elevação do lençol freático causada pelo manejo inadequado da irrigação, pelas perdas de água por infiltração em canais e reservatórios, e por deficiência de drenagem; c) aplicação de fertilizantes de forma excessiva e pouco parcelada no decorrer do período, induzindo stress osmótico ao sistema radicular (SILVA, 2002). O processo de salinização em cultivos fertirrigados pode ser acelerado quando se utilizam fertilizantes com maior poder de salinização, medidos pelo seu índice salino global e parcial, onde o índice global representa de forma relativa o poder de salinização dos fertilizantes, em que se atribui índice 100 ao nitrato de sódio e para os demais fertilizantes se atribui índice relativo a este; já o índice parcial considera o índice salino por unidade de nutrientes, e este é obtido pela razão entre o índice global e a porcentagem de nutrientes fornecidos pelo adubo (VILLAS BOAS et al., 1994).

O uso de águas de qualidade inferior na irrigação traz diversos problemas, desde desestruturação dos solos, desequilíbrios nutricionais, toxicidade de íons, encrostamento/obstrução do sistema de irrigação, dentre outros. A água de irrigação salina traz dois tipos de problemas: a) o direto, que é a deposição de sais via irrigação no solo, onde ficam acumulados, com a evaporação da água e/ou consumo pelas plantas; b) o indireto, acarretado pela redução da disponibilidade de água para as plantas, em decorrência do incremento no potencial osmótico de modo a afetar a produtividade das culturas. Para que sejam evitadas essas perdas de rendimento, é necessário que os sais sejam mantidos numa concentração inferior àquelas que afetariam o rendimento das culturas. Para isso, um manejo adequado dessas águas é fundamental.

Devido aos altos custos de perfuração, manutenção e custeio de poços profundos, a utilização de águas subterrâneas mais rasas e de qualidade inferior oriundas do Calcário Jandaíra, na irrigação das culturas, é uma prática comum entre os produtores de diversas localidades de fruticultores da Chapada do Apodi, principalmente nos municípios de Baraúna e Mossoró.

À medida que se irriga com água de qualidade inferior, aumenta a concentração salina da solução do solo e sua pressão osmótica também é aumentada, podendo atingir um nível em que as raízes das plantas não terão força de sucção suficiente para superar essa pressão. Conseqüentemente, a planta não conseguirá absorver água, mesmo de um solo aparentemente úmido (seca fisiológica), e, dependendo do grau de salinidade, a planta em vez de absorver poderá até perder a água que se encontra em seu interior (plasmólise) (GHEYI et al., 1996).

Outro efeito facilmente observado é a desestruturação dos solos, que ocorre basicamente pela interação eletroquímica existente entre os sais e a argila. A característica principal deste efeito é a expansão da argila quando umedecida e a retração quando a água é evaporada ou retirada pelas plantas. Se a expansão for exagerada pode ocorrer a fragmentação das partículas provocando a dispersão da argila. De modo generalizado, altera-se o volume ocupado pela argila, reduzindo o tamanho dos poros e modificando a estrutura do solo, afetando significativamente suas propriedades físicas (LIMA, 1997).

LIMA & GRISMER, 1990 (citado por LIMA, 1997), observaram que solos sodificados encolhem mais acentuadamente com a redução da umidade do que solos normais, apresentando densidade aparente maior, provavelmente como conseqüência da desestruturação do solo que elimina os poros. As diferenças notadas no encolhimento dos solos permitiram observar, através de análises computadorizadas de imagens, que solos normais apresentaram, quando secos, cerca de 8% de sua superfície aberta na forma de fendas, enquanto nos solos sódicos esta área varia de 15 a 20%. Isto reduz a permeabilidade e qualquer excesso de água fica empoeado na superfície do solo, impedindo a germinação das sementes e o crescimento das plantas por falta de aeração (Gheyi et al., 1996).

A acumulação de sais solúveis torna o solo floculado, fofo e bem permeável, (Gheyi et al., 1996). Já os solos salino-sódicos, embora apresentem uma elevada concentração de sódio, possuem permeabilidade menos crítica do que os solos sódicos, em razão do efeito floculante dos sais solúveis (RUIZ et al., 2004).

Normalmente, solos afetados por sais são encontrados em zonas áridas e semi-áridas, onde a evaporação é superior à precipitação. A drenagem interna é deficiente e apresentada em alguns solos dessas regiões e, juntamente com a excessiva evaporação, produz a acumulação de sais solúveis e o incremento do sódio trocável na superfície e/ou na subsuperfície dos solos (BARROS et al., 2004).

Águas com o pH elevado podem promover problemas de toxicidade de íons e precipitação/ obstrução do sistema de irrigação, onde a alcalinidade excessiva na fertirrigação pode criar uma série de inconvenientes, que vão desde o entupimento dos emissores, pela

precipitação de carbonatos e fosfatos, até a redução da disponibilidade de micronutrientes para as culturas (EGREJA FILHO et al., 1999). As obstruções causadas pelas precipitações químicas de materiais como carbonato, fosfatos e sulfatos de Ca evoluem gradualmente e são favorecidas por elevadas temperaturas e altos valores de pH.

Em diversos lugares do mundo usam-se águas de qualidade inferior (AYERS & WESTCOT, 1999; RHOADES et al., 1992), pois muitas vezes essas águas são a única fonte disponível e, mesmo que as produções obtidas não sejam de máximas potencialidades permitidas pelas culturas, apresentam resultados econômicos positivos.

Na região leste da Arábia Saudita, que apresenta clima árido, a salinidade das águas dos poços utilizada para a irrigação das culturas, varia entre 3,25 e 4,95 dS m⁻¹. Devido à sua moderada Condutividade Elétrica, não é possível obter-se os rendimentos máximos para as culturas, no entanto, aplicando-se lâminas de lixiviação adequadas e utilizando-se irrigações mais freqüentes, os rendimentos podem ser melhorados (AYERS & WESTCOT, 1999).

A região sudoeste do estado do Arizona, EUA, utiliza para irrigação águas subterrâneas relativamente salinas com condutividade elétrica variando entre 3 a 11 dS m⁻¹, em solos arenosos.

Segundo Ayers & Westcot (1999) citando Payne et al. (1979), o México possui poços no vale Mexicali, cuja salinidade chega a 3,4 dS m⁻¹, sendo o teor de cálcio 12,2 mmol_c L⁻¹ e de Sódio 15,8 mmol_c L⁻¹, apresentando também elevados valores para o cloreto (13,8 mmol_c L⁻¹) e sulfato (14,2 mmol_c L⁻¹). O teor de bicarbonato da ordem de (HCO₃⁻) 6,4 mmol_c L⁻¹, pode acarretar precipitação em associação com os elementos Ca e Mg na forma de carbonato (CO₃⁻²).

Os principais problemas provocados pelo uso de águas de qualidades inferiores na irrigação das culturas são facilmente observados nos solos e/ou culturas, que correspondem principalmente à salinização com conseqüente aumento da pressão osmótica, à desestruturação dos solos e à toxicidade por íons específicos, além de contribuir para a obstrução e/ou a corrosão do sistema de irrigação.

A água de irrigação contém sais solúveis e seu uso constante, na ausência de lixiviação, faz com que o sal se deposite na zona radicular devido à evapotranspiração. A drenagem superficial inadequada conduz, com freqüência, a uma concentração de sais no interior da bacia, ao invés da sua descarga no mar (FAGERIA, 1998).

Em regiões úmidas, por se tratar de zonas com precipitações elevadas, os sais são lixiviados até a zona freática ou eliminados através de águas superficiais com maior freqüência (PIZARRO, 1978; RICHARDS, 1970).

2.5. Efeito dos sais sobre as plantas

Conforme Bernstein (1964), a salinidade afeta as plantas de três maneiras: diminuindo o potencial osmótico do meio, o que reduz a disponibilidade de água no solo; causando toxicidade através do acúmulo de íons específicos; e proporcionando um efeito indireto de ordem nutricional, incluindo o que ocorre pela desestruturação do solo.

A tolerância de várias culturas à salinidade é convencionalmente expressa (MAAS & HOFFMAN, 1977) em termos de rendimento relativo (Y), valor de salinidade limiar (SL), que é a salinidade máxima tolerada pela cultura sem reduzir o rendimento potencial da cultura, e decréscimos percentuais de produção (b) por unidade de aumento da salinidade acima da salinidade limiar, onde a salinidade do solo é expressa em termos de condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEes), em dS/m.

Segundo Maas (1984), as culturas podem ser classificadas por grupos, em função da tolerância relativa à salinidade do extrato saturado do solo (CEes), conforme segue: sensível ($SL < 1,3$ dS/m), moderadamente sensível ($1,3 < SL < 3,0$ dS/m), moderadamente tolerante ($3,0 < SL < 6,0$ dS/m), tolerante ($6,0 < SL < 10,0$ dS/m) e não adequada CEes $> 10,0$ dS/m. Ayers & Westcot (1999) e Rhoades et al. (1992) apresentam tabelas com os parâmetros de tolerância de diversas culturas.

Maas et al. (1986) mostram que os efeitos da salinidade podem provocar, inclusive, em função do estágio fenológico da cultura, acumulação diferenciada de sódio, cloreto, boro, potássio e outros íons, podendo causar toxidez ou desbalanço nutricional.

Os efeitos dos sais sobre as plantas podem ser causados principalmente pelas dificuldades de absorção de água pela planta, pela interferência dos sais nos processos fisiológicos, ou mesmo por toxidez similar àquelas de adubações excessivas, (LIMA, 1997), interferindo diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas (LAUCHI & EPSTEIN, 1984).

Entre os fatores, a disponibilidade de água e os efeitos tóxicos são os mais conhecidos e que têm sido tratados com uma maior ênfase. Os efeitos acontecem quando a planta absorve juntamente com a água excesso de certos sais ou íons, que podem ser acumulados em níveis prejudiciais nas folhas durante a transpiração onde os danos poderão reduzir significativamente os rendimentos cuja magnitude depende do tempo, concentração de íons e sensibilidade (tolerância) das plantas. Os sintomas de toxicidade (necroses, queimaduras) poderão aparecer, em qualquer cultura, se a concentração de determinado íon na solução do solo for suficientemente alta. Os problemas de toxicidade, freqüentemente, acompanham ou

complicam os de salinidade ou de permeabilidade, podendo aparecer mesmo quando a salinidade for baixa. A absorção foliar acelera a velocidade de acumulação do íon tóxico na planta, sendo muitas vezes a fonte principal de toxidade. Efeitos indiretos poderão ocorrer, já que altas concentrações de Na ou outros cátions na solução do solo poderão afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas indiretamente, isto é, afetando através de seu efeito sobre as condições físicas do solo ou na disponibilidade de outros elementos (LAUCHI & EPSTEIN, 1984).

As plantas tolerantes à salinidade são designadas como plantas halófitas e sua tolerância pode atingir até cerca de 15 g.L^{-1} de NaCl, equivalente à metade da concentração da água do mar. Essas plantas absorvem, por exemplo, o cloreto de sódio em altas taxas e o acumulam em suas folhas para estabelecer um equilíbrio osmótico com o baixo potencial da água presente no solo. Este ajuste osmótico se dá com o acúmulo dos íons absorvidos nos vacúolos das células das folhas, mantendo a concentração salina no citoplasma em baixos níveis de modo que não haja interferência com os mecanismos enzimáticos e metabólicos e com a hidratação de proteínas das células. Este compartimento de sal é que permite às plantas halófitas viverem em ambiente salino. Para esse ajuste osmótico, na membrana que separa o citoplasma e o vacúolo não há fluxo de um compartimento para outro, mesmo que haja elevado gradiente de concentração. O ajuste osmótico é obtido por substâncias compatíveis com as enzimas e os metabólitos ali presentes. Esses solutos são na maioria orgânicos, como compostos nitrogenados e, em algumas plantas, açúcares como o sorbitol (LAUCHI & EPSTEIN, 1984).

As plantas sensíveis à salinidade tendem, em geral, a excluir os sais na absorção da solução do solo, mas não são capazes de realizar o ajuste osmótico descrito e sofrem com decréscimo de turgor, levando as plantas ao estresse hídrico por osmose. Embora o crescimento da parte aérea das plantas se reduza com o acentuado potencial osmótico do substrato onde vivem, a redução da absorção de água não é necessariamente a causa principal do reduzido crescimento das plantas em ambientes salinos (LAUCHI & EPSTEIN, 1984).

Kramer (1983) aponta que plantas que crescem em substratos salinos mantêm seu turgor e chama atenção pelo fato de que suculência é uma característica comum entre as halófitas. Este fato sugere que essas plantas não perdem água por salinidade como se estivessem em solos secos e também não se recuperam como fazem as plantas estressadas por falta de água, ao receberem água novamente.

Plantas muito sensíveis à salinidade também absorvem água do solo juntamente com os sais permitindo que haja toxidez na planta por excesso de sal absorvido. Este excesso

promove desbalanceamentos e danos ao citoplasma, resultando em danos principalmente na bordadura e no ápice das folhas, a partir de onde a planta perde, por transpiração, quase que tão somente água, havendo nestas regiões acúmulo do sal translocado do solo para a planta, e obviamente intensa toxidez de sais.

As águas que contêm menos de 600 mg.L⁻¹ de sais totais, geralmente podem ser usadas para irrigação de quase todas as culturas. Águas com concentração salina entre 500 e 1.500 mg.L⁻¹ têm sido usadas na irrigação de plantas sensíveis a sais em solos de boa drenagem interna ou providos de sistema de drenagem. As águas que contêm de 1.500 a 2.000 mg.L⁻¹ podem ser usadas na irrigação de culturas moderadamente tolerantes, se uma maior frequência de irrigação combinada com uma lâmina de lixiviação for adotada. Entretanto, águas que contêm de 3.000 a 3.500 mg.L⁻¹ só poderão ser utilizadas com plantas altamente tolerantes (CORDEIRO, 2001).

As plantas extraem a água do solo quando as forças de embebição dos tecidos das raízes são superiores às forças de retenção da água exercida pelo solo. À medida que a água é extraída do solo, as forças que retêm a água restante tornam-se maiores. Quando a água do solo é retida com força superior às forças de extração, inicia-se o estado de escassez de água na planta. A presença de sais na solução do solo faz com que aumentem as forças de retenção por seu efeito de osmose e, portanto, a magnitude do problema de escassez de água na planta. (AYERS & WESTCOT, 1991).

Segundo Bergmann (1992), altos níveis de Na promovem redução do crescimento vegetativo por inibir principalmente a absorção de Mg e K em espécies madeireiras.

Os efeitos adversos da salinidade sobre as plantas constituem um dos fatores limitantes da produção agrícola, devido principalmente ao aumento da pressão osmótica do solo e à toxidez resultante da concentração salina e dos íons específicos (CORDEIRO, 2000).

Algumas famílias botânicas incluem espécies que podem, inclusive, ter o seu crescimento beneficiado por concentrações elevadas de cloreto de sódio (LAUCHLI E EPSTEIN, 1984).

2.6. Técnicas de manejo para controlar os efeitos da salinidade

A recuperação de solos salinos é cara e demorada, com isso, devem ser adotadas práticas de controle de salinidade, para que as áreas irrigadas não sejam afetadas por sais. A

qualidade e manejo de água de irrigação e as condições de drenagem são aspectos importantes na prevenção dos problemas de salinidade. Sabendo-se que os sais se movimentam com a água, o controle da salinidade depende principalmente da irrigação, lixiviação e drenagem (GHEYI et al., 1996). Ayers e Westcot (1985), afirmam que a lixiviação é a solução para se controlar o problema da salinidade da água.

Ayers e Westcot (1985) ressaltam que a quantidade de lixiviação requerida depende da qualidade da água de irrigação e da tolerância da cultura à salinidade.

O nível de salinidade dos solos deve ser sempre inferior ao nível nocivo às plantas cultivadas; assim, o monitoramento direto da salinidade na zona radicular é recomendado para avaliar a eficiência dos diversos programas de manejo nas áreas irrigadas. Caso a salinização seja consequência da utilização de águas de qualidade inferior, a principal prática de controle consiste em permitir que lâminas excedentes de irrigação percolem no perfil do solo e garantam um equilíbrio favorável dos sais na zona radicular da cultura. Essa lâmina de lixiviação pode ser aplicada intencionalmente ou pode ocorrer como consequência de perdas espontâneas proporcionadas pela irrigação. A lâmina total a ser aplicada pode ser calculada com base na evapotranspiração, na condutividade elétrica da água de irrigação e na tolerância da cultura à salinidade. A razão entre a lâmina percolada além da zona radicular e a lâmina total aplicada é denominada na literatura de fração de lixiviação. Entretanto, para que esta prática de controle seja eficiente, é necessário que a drenagem do solo seja adequada, garantindo, além da aeração, que o fluxo descendente prevaleça sobre o ascendente no perfil do solo e que os sais lixiviados sejam eliminados mediante drenagem (SHALHEVET, 1994).

Medeiros & Gheyi (1997) recomendam a aplicação de uma fração de lixiviação, que deve variar entre 2 e 30% dependendo da qualidade da água aplicada e do método de irrigação.

Mediante a melhoria das práticas de irrigação, construção de sistemas de drenagem no campo, lixiviação de sais em excesso e outras medidas, é possível controlar o risco de degradação do solo e reduzir os efeitos sobre as plantas, obtendo-se aumentos significativos dos níveis de produtividade e preservando as condições ambientais.

As águas de irrigação, mesmo as de melhor qualidade, como as classificadas como C1-S1, possuem certa quantidade de sal. Se toda água aplicada na irrigação for evapotranspirada, haverá um acúmulo constante de sal no solo; com o passar do tempo o solo será, indubitavelmente, salinizado, tornando-se evidente a necessidade de drenagem natural ou

artificial nessas áreas, quando irrigadas, para evitar sua salinização. Nas áreas úmidas e semi-úmidas, é preciso somente construir os sistemas de drenagem quando a drenagem da área for insuficiente, pois as águas das chuvas lixiviam o excesso de sal do solo, evitando assim a sua salinização (BERNARDO et al. 2005).

Segundo Gheyi et al. (1996), algumas práticas complementares devem ser implementadas pelo produtor que utiliza águas de qualidade inferior na irrigação, para que as produções se mantenham a níveis aceitáveis:

- * Promover a lixiviação dos sais, preferencialmente, durante as épocas frias;
- * Cultivar o solo periodicamente e evitar o escoamento superficial e destruir as fendas;
- * No caso de aplicação de água pelo método de aspersão, adotar intensidades de aplicação menores que a velocidade de infiltração do solo;
- * No caso de aplicação de água por inundação, alternar os períodos de inundação com períodos secos (desde que não haja presença de lençol freático a pouca profundidade).
- * Evitar períodos de repouso, particularmente durante os verões quentes;
- * Irrigar antes do início das chuvas, quando se sabe que as lâminas aplicadas por chuva não serão suficientes;
- * Aplicar periodicamente uma dose adequada de gesso, quer na água de irrigação quer diretamente no solo, para diminuir o risco de sodificação, sobretudo quando a água utilizada na irrigação apresenta moderado ou severo risco de redução da infiltração;
- * Nivelar o solo para aumentar a uniformidade de aplicação de água e, alternativamente, preparar as parcelas em curvas de nível;
- * Incorporar matéria orgânica que favoreça a infiltração;
- * No caso do método de irrigação por gotejamento, irrigar logo após a ocorrência de chuvas de menor intensidade para lixiviar os sais deslocados das regiões periféricas para o sistema radicular.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 – Região de abrangência do estudo

O estudo foi realizado nos pólos de fruticultura dos municípios de Mossoró (Pau Branco, Califórnia, Gangorra, Posto Fiscal), Baraúna (Projetos de Assentamentos (PA) Poço Baraúna, Caatingueira e Olho D'água da Escada) no estado do Rio Grande do Norte e no Município de Aracati (Mata Fresca) no estado do Ceará.

Foram realizadas visitas às empresas e propriedades rurais que trabalham com a produção de frutas e hortaliças irrigadas e que possuem poços tubulares explorando a água do Aquífero Jandaíra. Os poços foram priorizados proporcionalmente à densidade de poços de cada região ou pólo de hortifruticultores.

O levantamento dos poços foi feito a partir dos órgãos públicos e privados responsáveis por perfuração de poços e/ou que gerenciam os recursos hídricos no estado (Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos-SERHID, Prefeituras, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais -CPRM, etc.).

Nas propriedades e poços selecionados foram aplicados questionários registrando os dados de interesse da pesquisa, que em seguida foram tabulados, sistematizados e avaliados.

As principais informações obtidas através dos questionários foram:

- Localização do poço;
- Área irrigada;
- Vazão total e mecanizada;
- Profundidade do poço;
- Níveis estáticos (quando possível) e dinâmico;
- Diâmetro e profundidade do poço e do revestimento;
- Datas da perfuração e do revestimento do poço;
- Sistema de irrigação empregado;
- Culturas irrigadas; etc.

A partir desse levantamento, foram priorizadas 30 propriedades e analisados 50 poços do Calcário Jandaíra para estudos da qualidade da água e de características hidrodinâmicas, coletando-se os dados de níveis estático e dinâmico com auxílio de medidor de nível (Figura 1).

Utilizando-se GPS e o mapa da região (SUDENE, 1972), foram feitas as localizações dos poços, determinando-se as suas coordenadas geográficas (latitude, longitude e altitude).

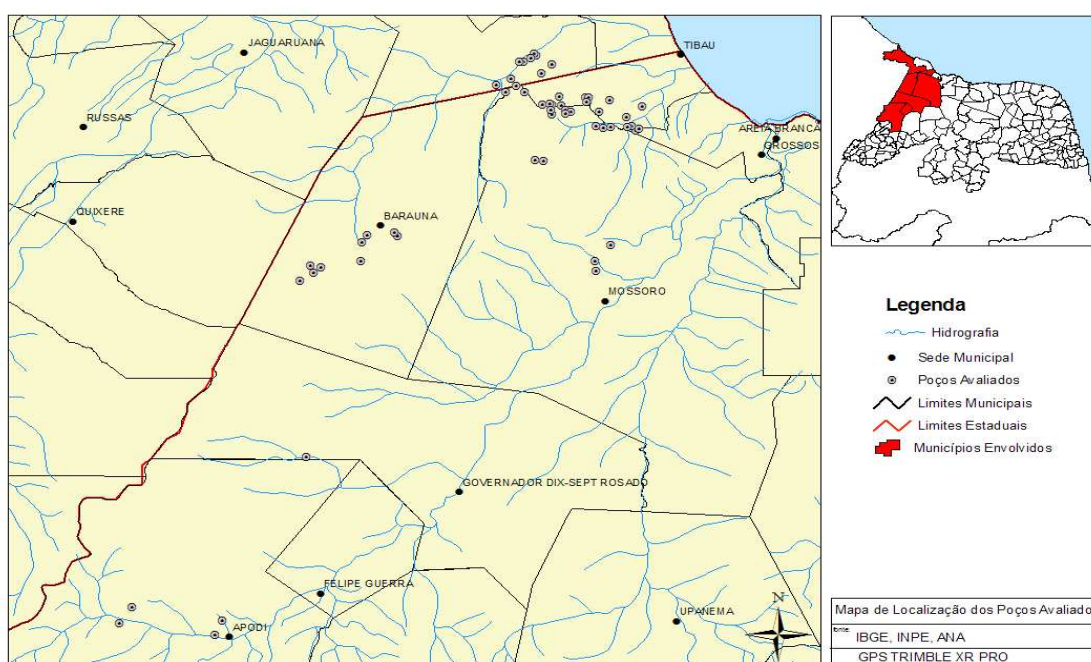


Figura 1-Mapa indicando a localização dos poços onde se coletou as amostras de água

3.2 – Coleta das amostras

Foram realizadas quatro visitas in loco, sendo duas no período pós-chuvas dos anos 2005 (junho-julho) e 2006 (julho-agosto), e duas no final do período da estiagem dos anos de 2005 (novembro-dezembro) e 2006 (dezembro-janeiro 2007), observando os critérios para coleta de água conforme Palacios & Aceves (1970).

Por ocasião da coleta das águas, foram determinados a temperatura, com auxílio de termômetro de bolso, a CE (condutividade elétrica), com o auxílio de condutivímetro de bolso, e o pH, com o medidor do pH portátil, além das medidas hidrodinâmicas dos poços.

As amostras de água foram coletadas diretamente das saídas dos poços, acondicionadas em garrafas plásticas, opacas, de 500 mL, e conduzidas para o Laboratório de Solo, Planta e Água da UFERSA.

3.3 – Análise das águas

Para avaliar a qualidade da água de irrigação de forma completa, foram feitas na primeira e quarta coleta as seguintes determinações, de acordo com as metodologias adotadas pelo Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-

Árido (EMBRAPA, 1997 E RICHARDS, 1954): pH; Condutividade Elétrica (CE); Cálcio; Magnésio; Potássio; Sódio; Cloreto; Carbonato; Bicarbonato.

A sodicidade foi avaliada através da RAS_c (Razão de Adsorção de Sódio Corrigida), utilizando-se a equação recomendada por Suarez (1981), descrita a seguir:

$$RAS_c = \frac{Na}{\left(\frac{Ca^0 + Mg}{2} \right)^{1/2}}$$

em que,

RAS_c – razão de adsorção de sódio corrigida;

Na – concentração de sódio na água de irrigação, mmol L⁻¹;

Ca^0 – concentração corrigida de cálcio na água de irrigação, mmol L⁻¹, e

Mg – concentração de magnésio na água de irrigação, mmol L⁻¹.

O Ca^0 foi determinado através da equação proposta por Medeiros & Gheiy (1997):

$$Ca^0 = 0,43 \cdot \left[\left(9,32 + \left(2,47 \cdot CE^{\frac{1}{2}} \right) - (1,36 \cdot CE) \right) \cdot \left(\frac{Ca^{2+}}{HCO_3^-} \right)^{\frac{2}{3}} \right] \cdot (P_{CO_2})^{\frac{1}{3}}$$

onde:

P_{CO_2} - pressão parcial de CO₂, adotado como sendo 0,07 kPa.

3.4 – Classificação das águas para irrigação

De acordo com as análises laboratoriais, as águas foram classificadas quanto à conveniência para a irrigação, de acordo com o risco de salinidade e sodicidade, pelos padrões propostos por Richards (1954). Foram seguidas ainda as diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação recomendadas por Ayers & Westcot (1999).

Para avaliar o risco de precipitação do CaCO₂ no sistema de irrigação, foi utilizado o Índice de Saturação de Langelier (ISL) (AYERS & WESTCOT, 1999).

3.5 – Análises estatísticas

Para determinar a variação da qualidade das águas e das características hidrodinâmicas dos poços entre as localidades, foram analisados os parâmetros de interesse, através de estatística descritiva (valores médios, desvio padrão, número de observações, valores máximos e mínimos) de CE, pH, pHc, RAS, Ca, Mg, Na, Cl, HCO, vazão, nível dinâmico, nível estático, profundidade e potência instalada para cada localidade.

Para a primeira e quarta época foram elaboradas relações entre condutividade elétrica (CE) com a concentração de íons e RAS, como entre a RAS e a RASc, através de análise de regressão.

3.6 – Elaboração dos mapas

Foram elaborados mapas de salinidade e nível dinâmico da região estudada, locando-se as áreas onde as águas apresentam características semelhantes, utilizando o software específico para representar o comportamento espacial das variáveis avaliadas em cada época estudada, utilizando a técnica de krigeagem (VIEIRA, 2000).

3.7 – Seleção das culturas e estabelecimento do manejo de irrigação em função da qualidade da água existente

Com os dados da composição média das águas estudadas por localidade, em função da CE, usando a metodologia proposta por Rhoades et al. (1992) adaptada por Medeiros et al. (1997), com o objetivo de verificar que culturas podem ser exploradas na área em estudo, simulou-se a salinidade do solo para diferentes valores de CE da água e valores de fração de lixiviação, considerando a irrigação convencional e alta frequência.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características hidrodinâmicas, hidráulica e dimensionais dos poços.

Nível dinâmico

O nível dinâmico variou em função da localidade e da época do ano. Na tabela 2 observa-se que os poços das localidades de Califórnia, Pau Branco e Baraúna apresentaram tendência a rebaixamento do nível dinâmico no período do final da estiagem (2ª e 4ª coletas). Já no período pós chuvas (1ª e 3ª coletas), verifica-se nas localidades de Gangorra, Califórnia e Mata Fresca que o nível dinâmico médio foi menor que os verificados no período pós chuvas anterior, indicando a elevação do lençol freático, o que demonstra a rápida capacidade de recarga e abastecimento do lençol, caso haja chuvas.

Nos poços do Posto Fiscal constatam-se poucas variações entre os períodos pós chuvas e final da estiagem, contudo nas duas épocas verifica-se tendência ao rebaixamento do nível dinâmico. Excetuando Baraúna e Pau Branco, as demais localidades estudadas apresentaram recuperação do nível dinâmico médio após as chuvas superiores ao observado no ano anterior.

O nível dinâmico médio, levando-se em consideração todas as épocas avaliadas, foi de 16,62 m, com valores absolutos variando 5 m no período pós chuvas e 43 m no final da estiagem.

Analisando-se as informações contidas na tabela 2 e nas figuras 3 e 4, pode-se observar o comportamento do nível dinâmico dos poços nas 4 épocas de coleta, nas quais verificam-se que os poços mais rasos recuperaram o nível dinâmico mais rapidamente com as chuvas, contudo, observa-se que existe uma tendência de aprofundamento do nível dinâmico nos poços de Pau Branco. O rebaixamento dos poços devido ao bombeamento é mínimo, exceto aqueles que estão secando. No período de secas, o nível dinâmico médio foi de 19,2 m, apresentando um rebaixamento médio de 3,4 m em relação ao período pós chuvas.

Na 1ª coleta, 3,1% dos poços apresentaram nível dinâmico com profundidade de até 5,0 m; 25% profundidade de 5,0 a 10,0 m; 15,63% profundidade de 10,0 a 15 m; 21,88% profundidade de 15,0 a 20,0 m ; 18,75% profundidade de 20,0 a 25,0 m e 15,63% profundidade de 25,0 a 30 m, não apresentando leituras com mais de 30 m de profundidade (Figura 2). Da 1ª para a 2ª leitura verifica-se aumento de 39% no número de poços da classe ND de 10,0 a 15,0 m e 313% na classe ND > 30 m. As classes de ND de 0 a 5,0 m; 5,0 a 10,0 m; 15,0 a 20,0 m; 25,0 a 30,0 m apresentaram redução no percentual do número de poços da ordem de 100%, 12%, 28% e 20%, respectivamente.

Da 2ª para a 3ª coleta verifica-se aumento de 286% no número de poços da classe ND de 0 a 5,0 m; 64% na classe 15,0 a 20,0 m; 2% da classe 20,0 a 25,0 m e 265% da classe ND>30 m. Já as classes 5,0 a 10,0 m; 10,0 a 15,0 m e 25 a 30 m apresentaram reduções de 8%, 47% e 77%, respectivamente (Figura 2).

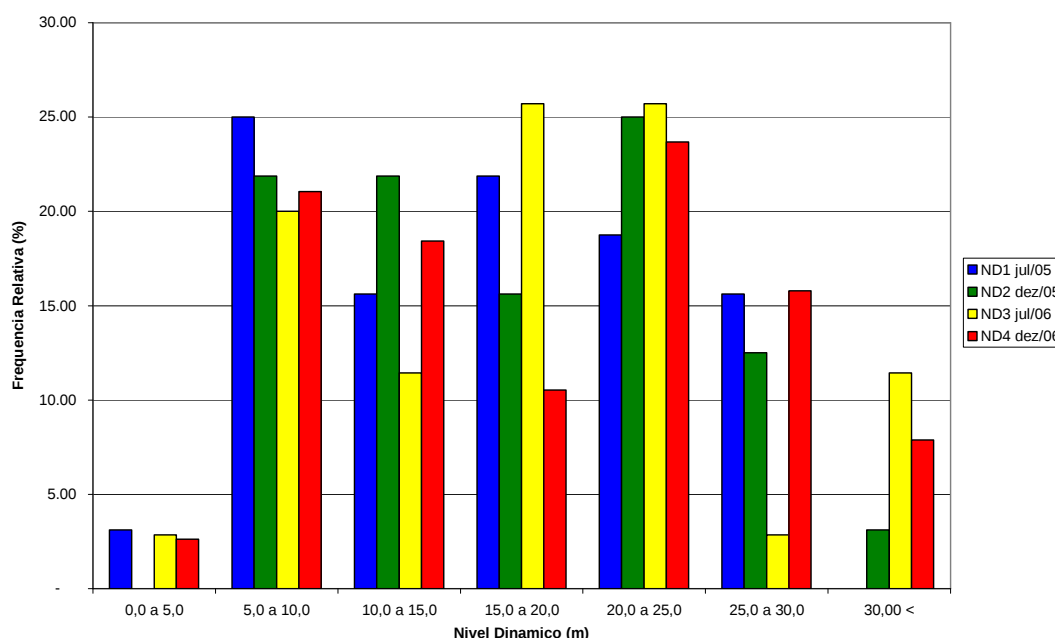


Figura 2. Frequência relativa do nível dinâmico dos poços nas diferentes épocas.

As variações verificadas da 3ª para a 4ª coleta foram de aumento no percentual do número de poços das classes ND de 5,0 a 10,0 m; 10,0 a 15,0 m e 25,0 a 30,0 m, com aumentos da ordem de 0,5%, 61% e 452%, respectivamente. Já as classes de ND de 0 a 5,0 m; 15,0 a 20,0 m; 20,0 a 25,0 m e ND>30,0 m, apresentaram reduções de 8%, 59%, 7% e ,30%, respectivamente.

Nas diversas localidades, os menores níveis dinâmicos foram obtidos nas depressões e vales, principalmente nas localidades de Gangorra, Califórnia, onde alguns poços são perfurados dentro de lagoas.

No tocante ao nível dinâmico médio, levando-se em consideração todas as épocas estudadas, observa-se que existe uma tendência de rebaixamento do nível dinâmico em relação ao mesmo período do ano anterior tanto na época pós chuvas quanto no final da estiagem.

Tabela 2. Nível dinâmico médio (m) por localidade nas diferentes épocas de coleta.

Localidades	1ª coleta Jul/05	2ª coleta Dez /05	3ª coleta Jul/06	4ª coleta Dez/06
(m)				
Gangorra	15,6±9,57 [#]	16,2±10,32	15,4±7,56	15,9±9,70
Califórnia	10,5±9,38	13,2±9,89	9,94±8,15	14,4±10,04
Pau Branco	19,0±6,08	20,4±6,62	19,0±6,52	21,0±6,90
Posto Fiscal	16,6±8,33	17,0±6,67	16,8±6,67	17,2±7,55
Mata Fresca	8,4±1,21	9,1±1,40	7,5±1,4	8,5±1,02
Baraúna	-	30,7±8,67	28,0±8,83	32,4±8,83
Todos	14,2	17,8	16,1	18,3

[#] Média ± desvio padrão

De uma forma geral, o nível dinâmico dos poços (Figura 2) está relacionado à altitude onde se localizam os poços (Figuras 3 e 4). Verifica-se que as localidades que apresentam menores altitudes foram Califórnia (6,94m), Gangorra (7,04m) e Mata Fresca (8,14m). Contudo, em relação aos valores médios tem-se a seguinte seqüência: Gangorra (7,50m), Califórnia (18,29m), Pau Branco (19,07m), Posto Fiscal (18,00m), Mata Fresca (11,36m) (Figura 5). Já a altitude do município de Baraúna (figura 6) tem média de 109,9 m, com maiores altitudes ocorrendo no PA Olho D'água da Escada (117,52m) e menores no PA Poço Baraúna (100,95m).

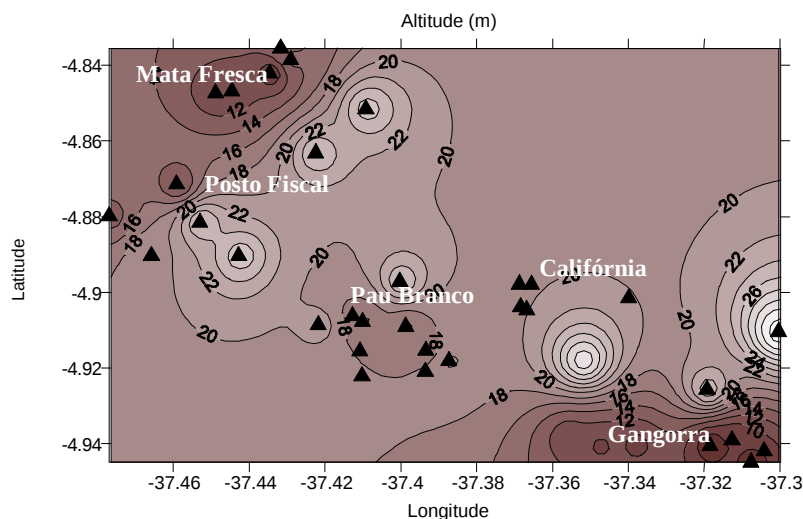


Figura 3. Mapa do comportamento da altitude das localidades de Gangorra, Califórnia, Pau Branco, Posto Fiscal e Mata Fresca.

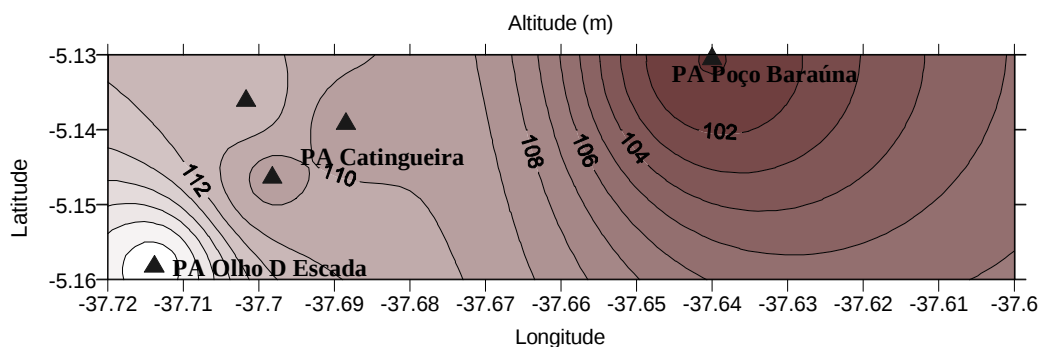
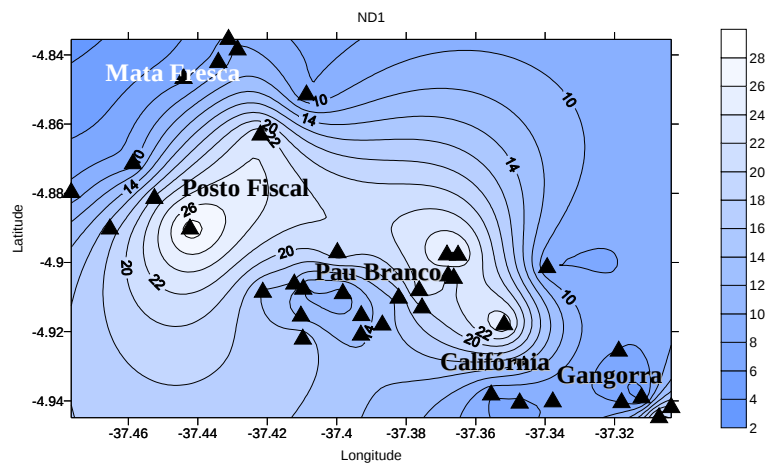


Figura 4. Mapas representando a altitude (m) nos Assentamentos Poço Baraúna, Catingueira e Olho D'água da Escada do Município de Baraúna.

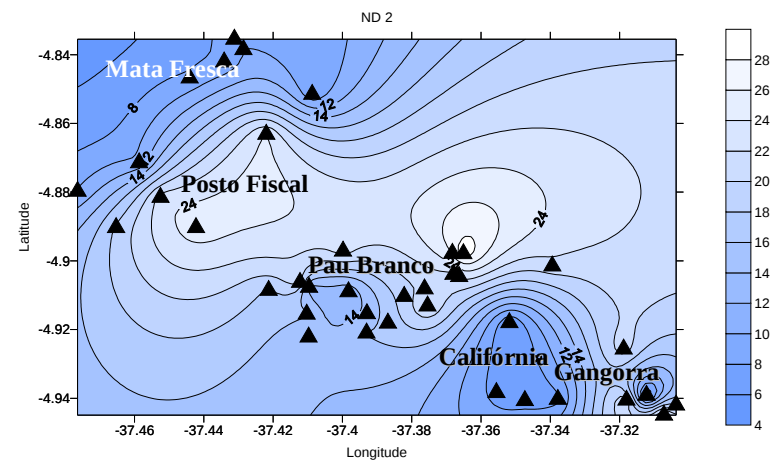
Analisando-se a variabilidade espacial ao longo das épocas estudadas nas localidades de Gangorra, Califórnia, Pau Branco, Posto Fiscal e Mata Fresca (Figuras 5), observa-se que existem regiões bem definidas quanto a profundidade do nível dinâmico, e que no final do período de estiagem tende a haver um aumento na profundidade da água dos poços, com recuperação durante o período chuvoso. De uma forma geral, as profundidades máximas dos poços não ultrapassam 25 m, inferior aos valores médios encontrados por Lisboa (2000) para poços de Mossoró e Baraúna.

Quanto ao nível dinâmico dos poços de Baraúna (Figura 6), observa-se um gradiente do oeste para leste, contrário do comportamento da altitude. Entretanto, as áreas de menor nível dinâmico coincidem com regiões que apresentam mais sumidores, que são pontos de recarga. O maior nível dinâmico dos poços PA poço Baraúna pode ser explicado pela maior densidade de poços em operação nesta área. Observa-se oscilações em toda a área entre as estações do ano, mostrando o efeito significativo da contribuição da chuva na recuperação do nível dinâmico destes poços. De uma forma geral, os poços em Baraúna têm seu nível dinâmico com cerca do dobro das águas de Mossoró.

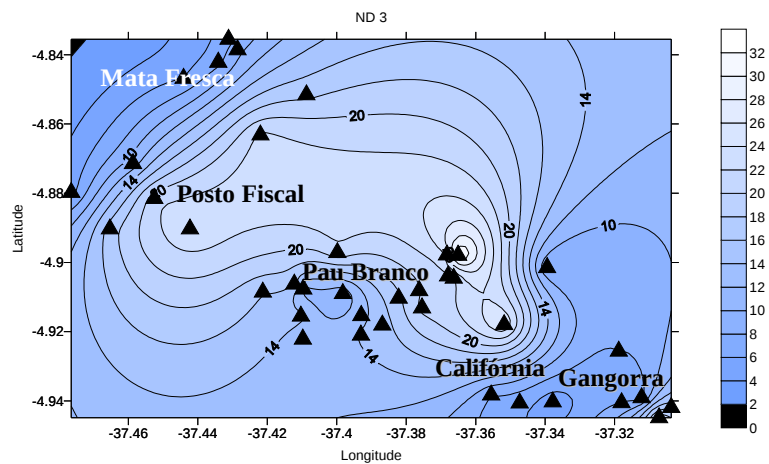
A



B



C



D

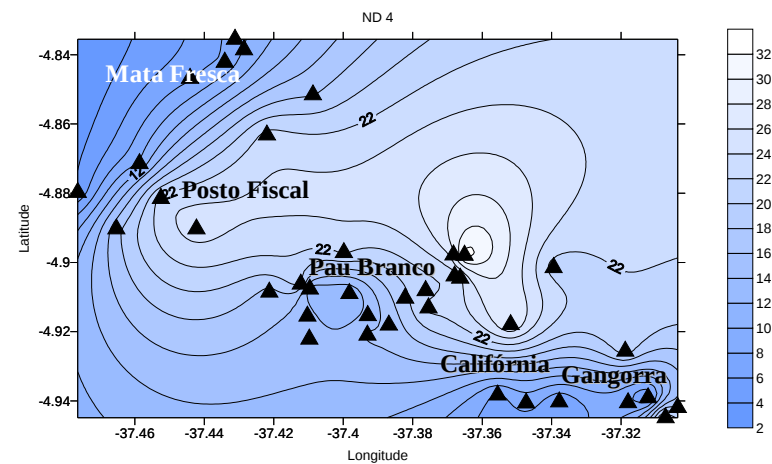
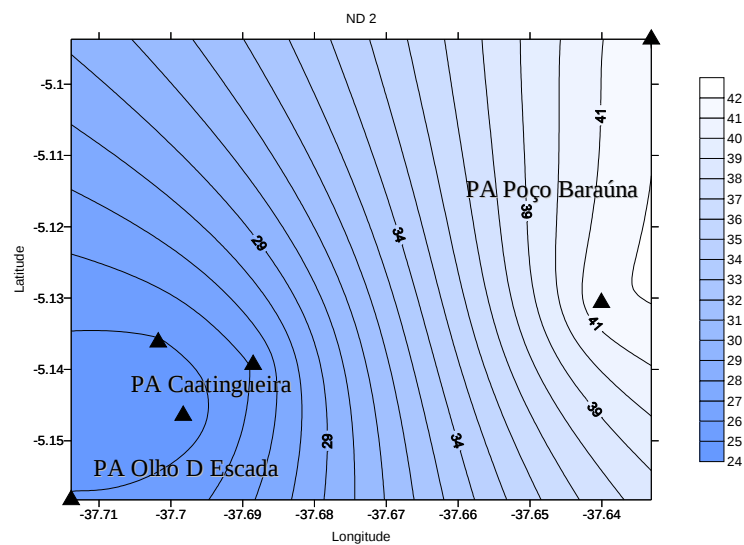
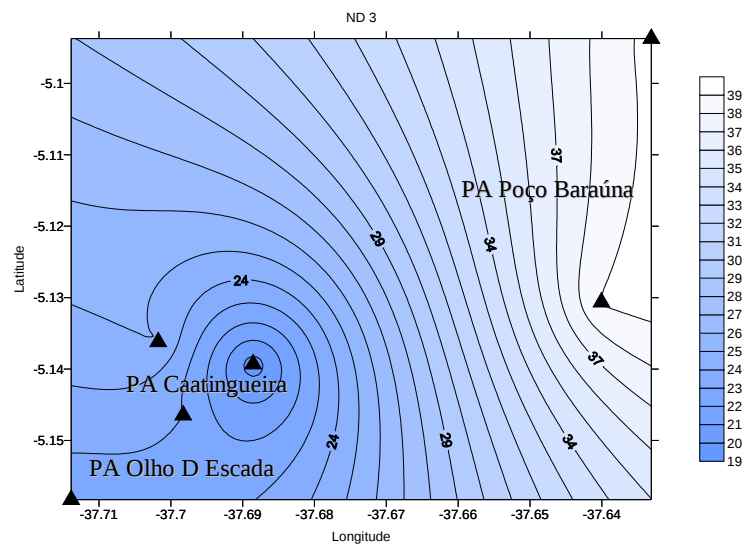


Figura 5. Mapas representando o comportamento do nível dinâmico em (m), das localidades de Gangorra, Califórnia, Pau Branco, Posto Fiscal e Mata Fresca nas diferentes épocas, A) 1ª coleta jul/05; B) 2ª Coleta dez/ 05; C) 3ª Coleta jul/ 06; D) 4ª Coleta dez/ 06.

A.



B.



C.

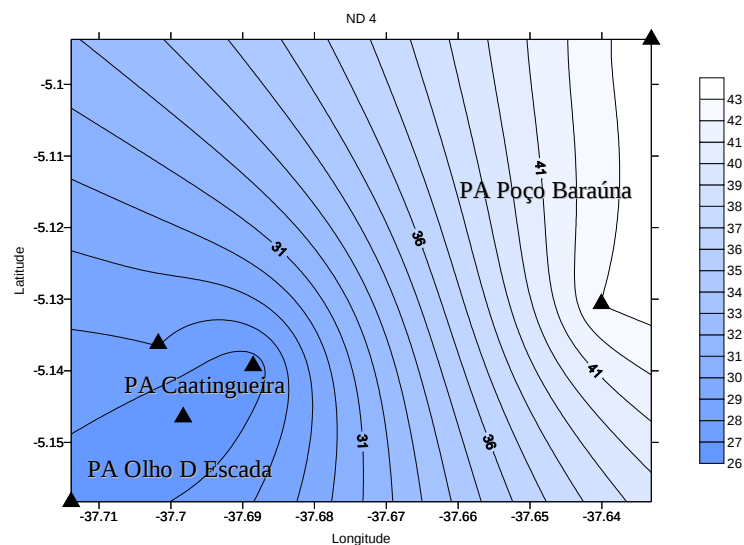


Figura 6. Mapas representando o nível dinâmico (ND) em m, das localidades de Baraúna nas diferentes épocas, A) 2ª Coleta dez/ 05; B) 3ª Coleta jul/ 06; C) 4ª Coleta dez/ 06;

Potência dos motores

Com respeito à potência instalada para captação e bombeamento (Figura 7), a média foi de 14,2 CV (Tabela 3), com 80% das bombas com potência maior ou igual a 12,5 CV, valores próximos aos verificados por Lisboa (1999). Considerando o rendimento energético de 50% e o ND médio acrescido de perdas de carga de 20 m.c.a., a vazão bombeada é de cerca de $67,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, vazão esta superior à média verificada, que foi de $47 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

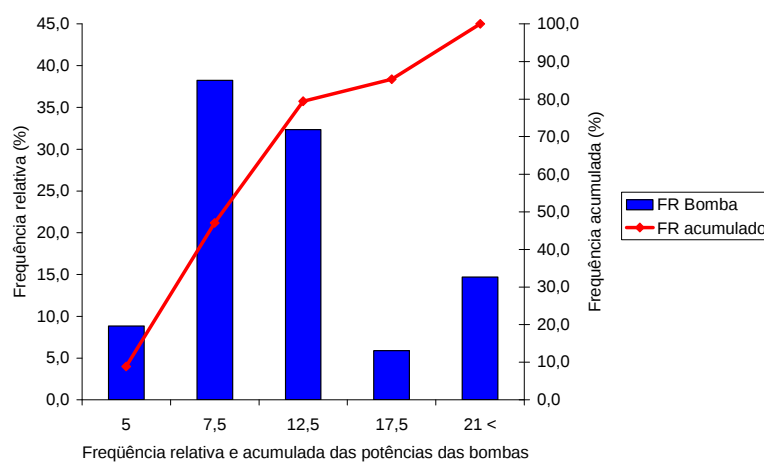


Figura 7. Frequência relativa e acumulada da potência instalada dos poços

Vazão

As vazões dos poços mecanizado no período, em média, ficaram por volta de $47 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Tabela 3), com 56% dos poços apresentando vazão entre 8 e $60 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Figura 8), aproximando-se dos obtidos por Medeiros (2003) e SERHID (2003), os quais relataram que a Formação Calcário Jandaíra apresenta caráter cárstico, com águas de qualidade adequada à fruticultura irrigada, com vazões entre 10 e $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$).

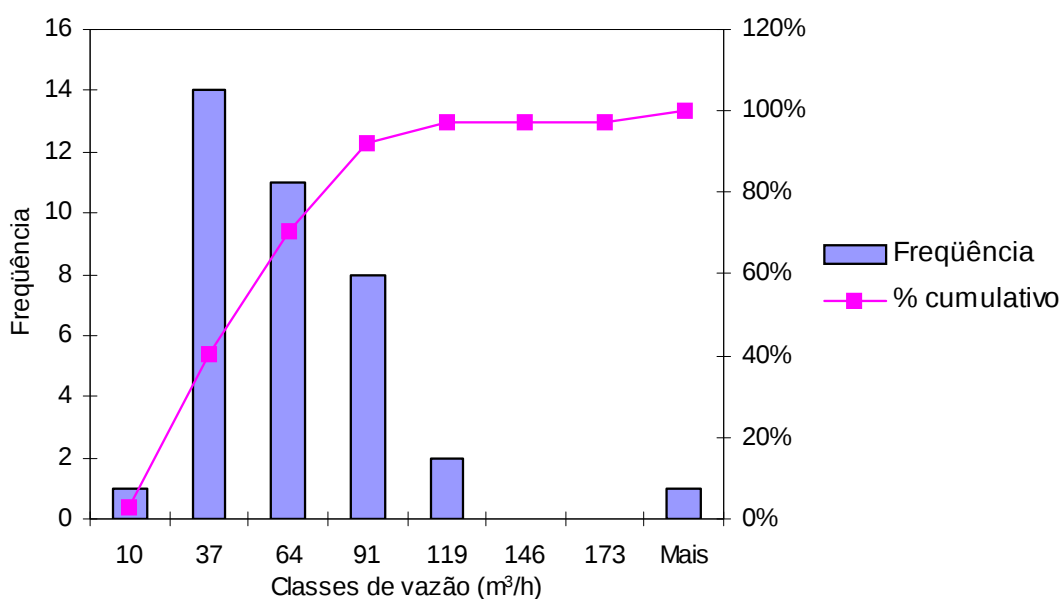


Figura 8. Frequência relativa e acumulada da vazão de um total de 29 poços.

Profundidade dos poços

Verifica-se que a profundidade média dos poços foi de 79,1 m (Tabela 3), com 60% apresentando profundidades de até 90 m. Os mais rasos (<30 m) encontram-se nas localidades de Gangorra e Mata Fresca e o mais profundo (150 m), na localidade de Pau Branco (Figura 9). Verifica-se uma amplitude na profundidade de poços superior à verificada por Fernandes & Santiago (2001) na porção oeste da Chapada do Apodi no estado do Ceará, que foi de 40 a 59m de profundidade.

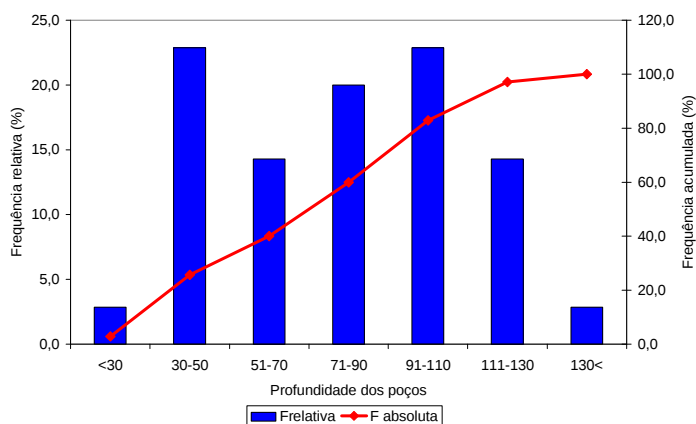


Figura 9. Frequência relativa e acumulada da profundidade dos poços de um número total de 35 poços.

Tabela 3. Estatísticas da vazão, nível dinâmico, nível estático, profundidade, potência instalada geral da água de irrigação por localidades, em Mossoró, Baraúna e Mata Fresca (Aracati/CE) em jul/2005.

Localidades	Estatísticas	Vazão (m ³ /h)	N.D. (m)	N.E. (m)	Prof. (m)	Pot. (CV)
Gangorra/ Mossoró	Média	60	15,7	8,5	57	6,5
	Desv Padr	-	9,6	-	25	3,1
	Num. Dados	1	3	1	3	4
	Mínimo	60	5	8,5	30	3
	Máximo	60	23,5	8,5	80	10
Califórnia Nolem	Média	-	10,5	-	-	-
	Desv Padr	-	9,38	-	-	-
	Num. Dados	-	8	-	-	-
	Mínimo	-	7,6	-	-	-
	Máximo	-	26	-	-	-
Pau Branco e vizinhos/ Mossoró	Média	46,4	19,1	28	77,2	13,4
	Desv Padr	23	6,1	-	31,9	7,8
	Num. Dados	8	13	1	13	10
	Mínimo	16	11	28	36	6
	Máximo	90	32,5	28	150	32
Córrego Mossoró/ Posto Fiscal	Média	-	16,6	-	-	-
	Desv Padr	-	8,33	-	-	-
	Num. Dados	-	5	-	-	-
	Mínimo	-	8,7	-	-	-
	Máximo	-	29,2	-	-	-
Mata Fresca	Média	60,8	8,4	6,75	32	16,5
	Desv Padr	26,9	1,21	0,75	5,66	7,8
	Num. Dados	4	5	3	5	5
	Mínimo	23	6,6	6	28	10
	Máximo	80	10,5	7,5	42	30
Baraúna	Média	45	-	-	-	12,2
	Desv Padr	-	-	-	-	3,8
	Num. Dados	1	-	-	-	7
	Mínimo	45	-	-	-	4,5
	Máximo	45	-	-	-	15
Todos os poços	Média	47	15,8	22,7	79,1	14,2
	Desv Padr	24	8,54	16	32,3	9,6
	Num. Dados	16	39	11	36	34
	Mínimo	8	5	6	28	2
	Máximo	90	41,5	53	150	40

4.2.Características da qualidade da água dos poços no início e fim do monitoramento.

Nas Tabelas 4 e 5, observam-se as características da água dos poços do aquífero Calcário Jandaíra utilizados para irrigação na área de abrangência da Chapada do Apodi: condutividade elétrica (CEa), pH, Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e composição química da água referente à 1ª coleta (jul/2005) e 4ª coleta (dez/2006), respectivamente, dos poços do aquífero Calcário Jandaíra, utilizados para irrigação na região de abrangência da Chapada do Apodi.

Cloretos

Com relação aos cloretos, nas tabelas 4 e 5, observa-se que tanto na 1ª quanto na 4ª coleta, com exceção das águas das localidades de Baraúna e Mata Fresca, o restante das localidades apresentaram concentrações médias superiores a $10,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$. As águas com maiores CE também apresentaram os maiores valores de cloretos, indicando severa restrição ao uso destas águas para irrigação de culturas (AYERS & WESTCOT, 1999). As águas das outras localidades apresentaram concentrações médias entre 4 e $10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, indicando restrições ligeira a moderada quanto à toxicidade pelo cloreto para as plantas.

Cálcio, Bicarbonato e Carbonato

Para o Cálcio, os valores absolutos observados variaram entre 6,2 e $26,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ na 1ª coleta e 7,1 e $23,7 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ na 4ª coleta, onde apenas a localidade de Gangorra apresentou valores considerados acima dos normais ($>20 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$) segundo Ayers & Westcot (1999), embora que os valores médios não ultrapassem este patamar. Valores superiores aos verificados por Medeiros (1992), que foram de até $10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ de Ca.

Nos poços em estudo, apenas os de Baraúnas apresentaram valores médios conforme observados por Medeiros (1992), na 1ª e na 4ª leituras.

A concentração de cálcio e de bicarbonato na 1ª e 4ª coletas foi superior, em todas as localidades, a $6,2$ e $4,0 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, respectivamente, o que poderá provocar a precipitação de fertilizantes fosfatados, quando adicionado na água de irrigação (AYERS & WESTCOT, 1999); (MEDEIROS, 2003).

No tocante ao HCO_3 , na 1ª e 4ª leituras, os valores absolutos variaram entre 3,99 e $7,4 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$ e entre 4,52 e $6,45 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, respectivamente. Estão todos dentro da classe considerada com restrição ligeira a moderada para uso ($1,5\text{-}8,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$) segundo Ayers &

Westcot, (1999). Os poços do município de Baraúna apresentaram valor médio de HCO_3^- superior aos verificados por Medeiros, (1992), que foram de $7 \text{ mmol}_c.\text{L}^{-1}$.

Em relação a dureza, todas as águas foram consideradas como duras, com mais de 500 mg L^{-1} de CaCO_3 , acima de 300 mg L^{-1} , que é um valor considerado alto para o consumo humano (NAKAYAMA & BUCKS, 1986).

O método mais eficaz para impedir obstruções provocadas pela precipitação de CaCO_3 é controlar o pH da água, de forma a mantê-lo próximo, porém não inferior, a 6,5, através da aplicação, no sistema, de ácido clorídrico ou sulfúrico.(AYERS & WESTCOT, 1999).

Dentre as alternativas que podem ser utilizadas para reduzir a alcalinidade das águas de irrigação, a adição de ácido tem sido a solução mais popular, que remove o carbonato (CO_3^{2-}) da água de irrigação na forma de CO_2 , o que evita a ocorrência de precipitação (BURT et al., 1995). O ácido fosfórico não é indicado devido as águas apresentarem altas concentrações de bicarbonatos, cálcio e magnésio (ROLSTON et al., 1986). GILBERT et al. (1986) utilizou ácido sulfúrico diluído para controlar o pH da água, enquanto BAR-YOSEF (1991) recomenda o uso dos ácidos fosfórico e nítrico. Já ABREU et al. (1987) e PIZARRO (1990) sugerem, além desses ácidos, o clorídrico, que não é recomendável se a água de irrigação for rica em cloretos.

O programa computacional ALKA 1.0, desenvolvido por EGREJA FILHO et al., (1999), mostrou-se bastante prático, em termos de rapidez de resultados, e eficiente no cálculo para o abaixamento do pH de águas alcalinas naturais, na faixa de pH entre 5,0 e 6,0, pela utilização de H_3PO_4 ; HCl ; H_2SO_4 e HNO_3 . Além de baixar o pH para valores desejados, estima a quantidade de nutrientes adicionados à água de irrigação, pela utilização dos ácidos e permite a adição de mistura de diferentes ácidos, visando obter uma proporção ideal de N, P e S; fornece o custo de operação de abaixamento de pH para cada ácido cadastrado.

No tocante ao ISL- (Índice de Saturação de Langelier), na 1ª Coleta (pós-chuvas 2005) e 4ª (fim da estiagem), todos os poços avaliados apresentaram $\text{ISL} > -0,5$. Segundo NAKAYAMA & BUCKS (1986) e AYERS & WESTCOT (1999), o ISL deve ser inferior a $-0,5$ para não apresentar risco de formação de precipitados CaCO_3 no interior dos sistemas de irrigação.

Magnésio

Com relação ao Mg, os valores variaram entre $2,69$ e $8,53 \text{ mmol}_c.\text{L}^{-1}$ na 1ª leitura e entre $2,6$ e $15,4 \text{ mmol}_c.\text{L}^{-1}$, com a localidade de Gangorra apresentando os maiores valores nas

duas épocas. Estes valores são considerados por Ayers & Westcot, (1999) acima do normal (0 - 5 mmolc.L⁻¹)

Sódio

Na 1ª e na 4ª coleta, na maioria das águas, o Na⁺ foi relativamente baixo, inferior ao Ca²⁺, mostrando que não há muito problema por parte do mesmo, o que pode ser confirmado pela RAS que, apenas na localidade de Gangorra, Mossoró, apresentou uma RAS corrigida (AYERS & WESTCOT, 1999) acima de 4 (mmolc/L)^{1/2}, o que seria águas classificadas com restrições de toxicidade por Na⁺.

Analisando-se os valores de RASc e CE das águas estudadas, nenhuma apresenta problemas no tocante à infiltração. Contudo, com relação à toxidade por íons específicos, segundo Ayers & Westcot,(1999), tanto na 1ª quanto na 4ª coletas, 77% das águas apresentaram ligeiro a moderado risco na aplicação por aspersão.

RAS

Com relação à RASc, as águas se comportaram de maneira independente. As localidades Califórnia, Pau Branco, Posto Fiscal e Mata Fresca apresentaram incremento na RASc, enquanto que em Gangorra e Baraúna verifica-se um decréscimo, quando compara-se a RASc-4 em relação à RASc-1, não apresentando nenhuma restrição ao uso segundo Ayers & Westcot, 1985.

A localidade de Gangorra apresentou os maiores valores médios na 1ª e na 4ª leituras, que foram de 7,21 e 4,74 (mmolc/L)^{1/2}, respectivamente, e a localidade de Baraúna, os menores valores médios, que foram de 1,09 e 1,37 (mmolc/L)^{1/2}, respectivamente. As localidades de Gangorra e Baraúnas apresentaram maiores valores na 1ª coleta (pós-chuva), já as localidades de Califórnia, Pau Branco, Posto Fiscal e Mata Fresca, apresentaram maiores leituras na 4ª coletas, ou seja, no final da estiagem.

pH

Os valores de pH variaram de 6,33 a 7,36, com 6% das águas apresentando ligeira restrição ao uso por apresentarem pH menor que 6,5, tanto na 1ª quanto na 4ª coletas. Estes valores estão bem próximos aos verificados por Fernandes & Santiago (2001), que foram de 6,7 a 7,13. Apesar da maioria das águas possuírem pH pouco acima de 7,0, sabendo que o mesmo foi medido no campo na saída da bomba, quando dentro do sistema de irrigação, com o sistema parado, o mesmo tende a aumentar, fazendo com que ISL aumente,

conseqüentemente a solubilidade dos carbonatos diminui e pode ocorrer mais facilmente a precipitação e posterior obstrução de emissores, fato este que confirma o descrito por NAKAYAMA & BUCKS (1986), AYERS & WESTCOT (1999) e EGREJA FILHO et al.(1999), (MEDEIROS, 2003).

Tabela 4. Características físico-químicas da água de irrigação por localidade, em Mossoró, Baraúna e Aracati no Estado do CE referente à 1ª coleta (jul-set2005)

Localidade	Número dados	CE (dS/m)	pH da água	RASc	Íons (mmol.L ⁻¹)					
				(mmol/L) ^{1/2}	Ca	Mg	K	Na	Cl	HCO ³
Gangorra	3	3,37±0,90	6,33±0,90	7,21±0,84	16,10±1,3	8,53±2,50	0,41±0,29	16,4±5,73	29,50±7,70	6,20±1,59
Califórnia	7	2,32±1,06	7,36±7,36	1,48±0,07	15,73±3,03	5,90±1,74	0,10±0,04	5,3±1,13	25,80±8,55	3,99±0,30
Pau branco	18	2,11±0,29	7,27±0,20	1,85±0,14	10,52±2,20	4,4±0,80	0,09±0,02	4,7±0,90	13,84±4,83	5,05±0,59
Posto Fiscal	7	1,76±0,59	7,23±0,08	1,67±0,17	10,45±2,60	3,13±0,90	0,09±0,04	3,6±1,30	10,17±7,14	4,49±0,20
Mata Fresca	5	1,71±0,09	7,18±0,13	1,58±0,16	10,46±3,08	3,27±0,60	0,07±0,03	3,4±0,66	8,6±5,64	4,24±0,41
Baraúna	7	1,26±0,10	7,16±0,05	1,09±0,19	7,49±0,60	3,6±1,06	0,05±0,005	1,7±0,35	4,81±0,32	7,4±0,30
Geral^º	47	2,09±0,72	7,19±0,34	1,7±0,73	11,2±3,47	4,5±1,77	0,11±0,12	4,8±3,60	14,58±9,50	5,14±1,21

[#] Média ± desvio padrão

Tabela 5. Características físico-químicas da água de irrigação por localidade, em Mossoró, Baraúna e Aracati no Estado do CE referente à 4ª coleta (dez 2006 a jan 2007)

Localidade	Número dados	CE (dS/m)	pH da água	RASc	Íons (mmol.L ⁻¹)					
				(mmol/L) ^{1/2}	Ca	Mg	K	Na	Cl	HCO ³
Gangorra	4	3,27±0,55	6,86±0,05	5,74±1,18	19,7±4,50	8,1±5,12	0,22±0,16	15,92±5,4	37,3±16,4	5,3±0,42
Califórnia	7	3,51±0,57	7,06±0,12	5,37±0,94	16,36±3,37	6,57±1,30	0,12±0,05	11,0±3,70	29,46±8,90	5,37±0,61
Pau branco	20	2,16±0,29	7,16±0,17	2,54±0,30	10,34±1,39	4,51±0,50	0,09±0,02	5,70±0,89	13,7±2,50	6,45±1,04
Posto Fiscal	7	1,76±0,32	7,13±1,12	2,17±0,32	9,00±0,45	3,67±0,40	0,07±0,01	4,28±0,91	10,2±3,40	5,97±1,60
Mata Fresca	5	1,78±0,09	6,96±0,11	2,31±0,13	9,52±1,20	3,42±0,70	0,07±0,01	4,4±0,33	8,08±2,30	4,52±1,56
Baraúna	7	1,26±0,05	6,9±0,03	1,37±0,06	8,26±0,53	2,69±0,20	0,06±0,02	2,26±0,20	4,6±0,60	6,17±0,57
Geral^º	50	2,29±0,90	7,01±0,12	3,24±1,18	12,19±4,68	4,73±2,0	0,10±0,06	7,26±2,16	17,22±13,09	5,63±0,70

[#] Média ± desvio padrão

4.3. Relações entre diferentes características da água de irrigação.

Alguns autores (MEDEIROS et al., 1993; MAIA, 1996; MARTINS et al., 1997; NUNES FILHO et al., 1997; e SILVA JÚNIOR et al., 1999) verificaram a existência de relações entre diferentes características da água. A Tabela 6 indica a relação existente entre a CE e as concentrações de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e Cl^- das águas de irrigação na 1ª e 4ª coletas, respectivamente, mostrando que as concentrações destes elementos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e Cl^-) podem ser estimadas com boa precisão ($R^2 > 0,69$) a partir da CE, crescendo todos proporcionalmente com a salinidade da água, enquanto o HCO_3^- não apresentou correlação significativa. De uma forma geral, as relações similares entre as épocas, exceto para a relação Na x CE, cujas águas mais salinas tenderam a apresentar maiores teores de Na.

Tabela 6. Relação entre diferentes características da água de irrigação na 1ª e 4ª coleta.

Relação	Primeira coleta		Quarta coleta	
	Equação	r^2	Equação	r^2
(Ca+Mg) x CE	$y = 6,4368x + 2,5302$	0,7612	$y = 5,9399x + 2,5489$	0,9711
Ca x CE	$y = 4,161x + 2,5355$	0,8482	$y = 3,5506x + 3,1243$	0,9317
Na x CE	$y = 4,7086x - 4,5979$	0,7217	$y = 3,0387x - 0,7999$	0,6978
Cl x CE	$y = 11,127x - 9,6629$	0,9422	$y = 11,469x - 10,704$	0,9931
RAS x CE	$y = 0,6036x + 0,688$	0,5229	$y = 0,6036x + 0,688$	0,5229
RASc x RAS	$Y = 1,3497x + 0,0521$	0,9863	$y = 1,4238x - 0,041$	0,9795

4.4. Classificação das águas de irrigação

Analisando a variação da qualidade das águas, observa-se um incremento no percentual de águas de qualidade inferior entre a 1ª e a 4ª coletas. Na 1ª coleta as águas foram classificadas como: C2S1-18%, C3S1- 60%, C4S1- 22%. Já na 4ª coleta C2S1-19,5%, C3S1- 63%, C4S1- 14% e C5S1-3,5%, ou seja, no período seco houve incremento de águas com classes piores, segundo classificação do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (Richards, 1954).

Com relação à classificação de Ayers & Westcot (1999), nenhuma água apresentou restrição de uso considerando o potencial de redução da capacidade de infiltração de água no solo.

Quanto à salinidade, verifica-se que todas as águas têm restrição de uso ligeira a moderada ou severa (10% a 20%), dependendo do período avaliado (Tabela 1).

4.5. Variabilidade espacial e temporal da condutividade elétrica da água e do nível dinâmico dos poços

Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica apresentou pequena variabilidade entre as coletas, e grande entre as localidades, com valores absolutos da CE variando entre 1,26 a 3,37 dS m⁻¹ e 1,26 e 3,51 dS m⁻¹ (Tabela 7) na 1ª e 4ª coleta respectivamente. Estes valores são superiores aos verificados por Fernandes & Santiago (2001), que estudando as águas a oeste da Chapada do Apodi, no estado do Ceará, foram entre 1,6 a 1,9 dS m⁻¹, e aproximados aos verificados por Medeiros et al. (2003), que estudando as águas localizadas na mesma área do estudo em questão verificaram variações entre 1,25 a 3,00 dS m⁻¹.

Na 1ª coleta, as localidades que apresentaram maior salinidade foram Gangorra (3,37 dS m⁻¹), Califórnia (2,32dS m⁻¹), Pau-Branco e áreas vizinhas (2,11 dS m⁻¹). Para irrigação convencional, a utilização destas águas em culturas sensíveis a moderadamente sensíveis à salinidade pode reduzir seu rendimento. Já as águas do município de Baraúna (1,2 dS m⁻¹) foram as que apresentaram menor CE, podendo ser utilizadas em culturas sensíveis à salinidade. Segundo classificação de Ayers & Westcot, (1999), na 1ª coleta 84,3% das águas apresentaram ligeira a moderada restrição quanto à salinidade, e 15,7% severa restrição de uso. Na 4ª coleta (pré-chuvas) verifica-se um incremento do número de poços com restrição de uso severa, atingindo 25% do total, com os demais poços apresentando águas com restrição ligeira a moderada. Esses resultados concordam com Medeiros et al. (2003), que verificaram incremento na salinidade na época da estiagem e águas com restrições quanto à salinidade ligeira a moderada e severa (Tabela 7).

Tabela 7. Condutividade Elétrica média (dS m^{-1}) por localidade nas diferentes épocas de coleta.

Localidade	Épocas				Médias
	1ª coleta Jul/05	2ª coleta Dez /05	3ª coleta Jul/06	4ª coleta Dez/06	
	----- dS m^{-1} -----				
Gangorra	3,37±0,90	3,13±0,56	3,11±0,59	3,27±0,55	3,22
Califórnia	2,32±1,06	3,07±0,45	2,30±0,80	3,51±0,57	3,07
Pau branco	2,11±0,29	2,00±0,21	2,15±0,29	2,16±0,29	2,10
Posto Fiscal	1,76±0,59	1,75±0,58	1,82±0,58	1,76±0,32	1,72
Mata Fresca	1,71±0,08	1,26±0,09	1,75±0,05	1,78±0,09	1,74
Baraúna	1,26±0,10	1,30±0,07	1,23±0,06	1,26±0,05	1,27

[#] Média ± desvio padrão

Nas figuras 10 e 11, observa-se o comportamento da CE das águas dos poços de Mossoró e Aracati (Gangorra, Califórnia, Pau Branco, Posto Fiscal e Mata Fresca) e Baraúna, respectivamente, nas diferentes épocas de coleta. Na figura 10-A observam-se os valores obtidos na 1ª coleta onde se verifica que a salinidade apresenta um aumento no sentido oeste – leste, com os poços da localidade Gangorra apresentando a maior salinidade absoluta, com valores de até $4,41 \text{ dS m}^{-1}$ e média de $3,22 \text{ dS m}^{-1}$. Já a localidade nas proximidades do Posto Fiscal foi a que apresentou menor salinidade absoluta, com valor de $1,42 \text{ dS m}^{-1}$ e média de $1,74 \text{ dS m}^{-1}$. Já as localidades Mata Fresca, Pau Branco, Califórnia apresentaram as seguintes salinidades média respectivamente: 1,74; 2,10 e $3,07 \text{ dS m}^{-1}$.

Na figura 10-B encontram-se os valores da 2ª coleta, onde se observa que a tendência do incremento da salinidade continua no sentido oeste-leste, e verifica-se que na localidade de Gangorra apresenta a maior salinidade, com leitura absoluta de até $3,77 \text{ dS m}^{-1}$, e a localidade próximo ao Posto Fiscal com a menor leitura, apresentando o menor valor absoluto de $1,39 \text{ dS m}^{-1}$. A localidade de Mata Fresca apresenta um incremento médio de 8% na salinidade em 100% dos poços, apresentando uma leitura média $1,72 \text{ dS m}^{-1}$. Na localidade Pau Branco, apesar de verificar incremento na salinidade de 50% dos poços, houve uma redução na salinidade média de 2,11 para $2,00 \text{ dS m}^{-1}$. Na Localidade de Califórnia pode-se observar que houve incremento da salinidade em 60% dos poços avaliados, com a média da salinidade aumentando de 2,32 para $3,07 \text{ dS m}^{-1}$.

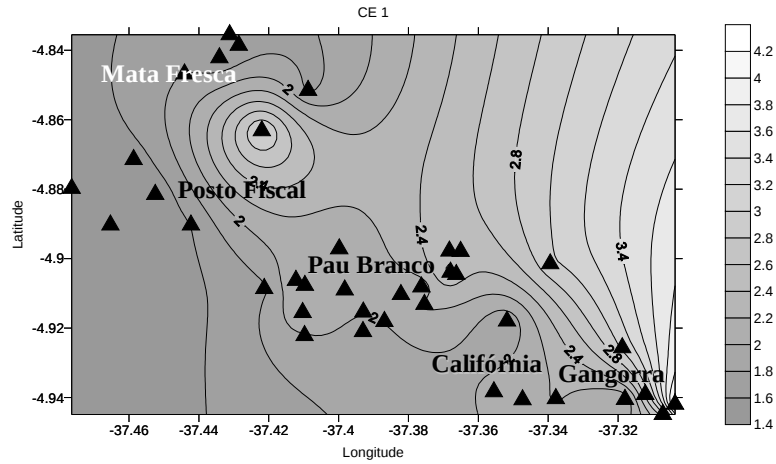
Na figura 10-C encontram-se os valores referentes à 3ª leitura, onde os maiores índices observados foram na localidade Gangorra com valores absolutos de até $3,01 \text{ dS m}^{-1}$. Esta localidade apresentou incremento da salinidade em 50% dos poços avaliados e apresentou salinidade média de $3,11 \text{ dS m}^{-1}$. Já os menores índices foram obtidos na localidade do Posto

Fiscal, com poços apresentando salinidade absoluta com valor de $1,43 \text{ dS m}^{-1}$ e média de $1,82 \text{ dS m}^{-1}$, apesar desta localidade apresentar aumento na salinidade em 80% dos poços neste período. Neste período a localidade do Pau Branco apresentou aumento da salinidade em 71% dos poços analisados, como também os valores médios da salinidade subiram para $2,15 \text{ dS m}^{-1}$. Na localidade de Califórnia observa-se uma tendência à redução da salinidade.

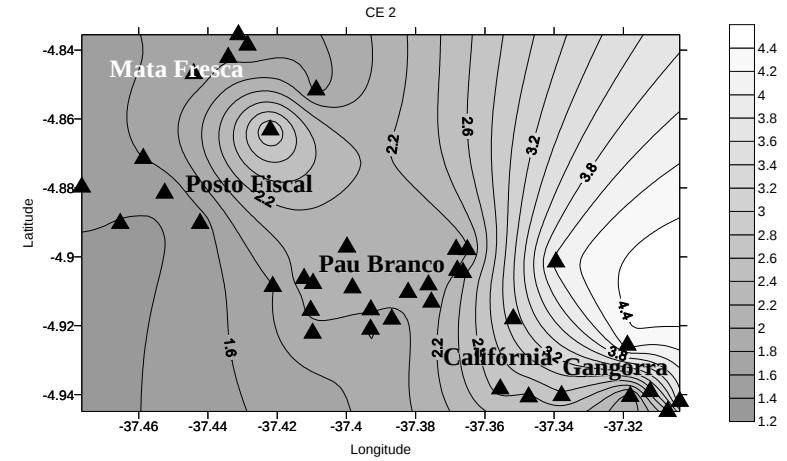
Na figura 10-D encontram-se os valores obtidos na 4ª coleta, onde os poços da localidade Gangorra apresentaram a maior salinidade absoluta, com valores de até $6,2 \text{ dS m}^{-1}$ e média de $3,27 \text{ dS m}^{-1}$. A localidade nas proximidades do Posto Fiscal foi a que apresentou menor salinidade absoluta, com valor de $1,4 \text{ dS m}^{-1}$ e média de $1,76 \text{ dS m}^{-1}$. Já as localidades Mata Fresca, Pau Branco, Califórnia apresentaram as seguintes salinidades médias respectivamente: 1,78; 2,16 e $3,51 \text{ dS m}^{-1}$.

Na figura 11, observa-se o comportamento da salinidade no município de Baraúna, onde se verifica um gradiente na salinidade aumentando no sentido sul-norte, além de uma tendência ao aumento da salinidade com o passar do tempo. As maiores leituras nas 4 coletas foram observadas no assentamento Poço Baraúna de $1,43$ a $1,30 \text{ dS m}^{-1}$ com os maiores valores sendo observados no período pós-chuvas, discordando dos resultados obtidos por Medeiros et al. (2003). Os menores valores foram obtidos no assentamento Catingueira, que variaram entre $1,15$ a $1,21 \text{ dS m}^{-1}$, com maiores índices ocorrendo na época da estiagem, concordando com os resultados obtidos por Medeiros et al., (2003).

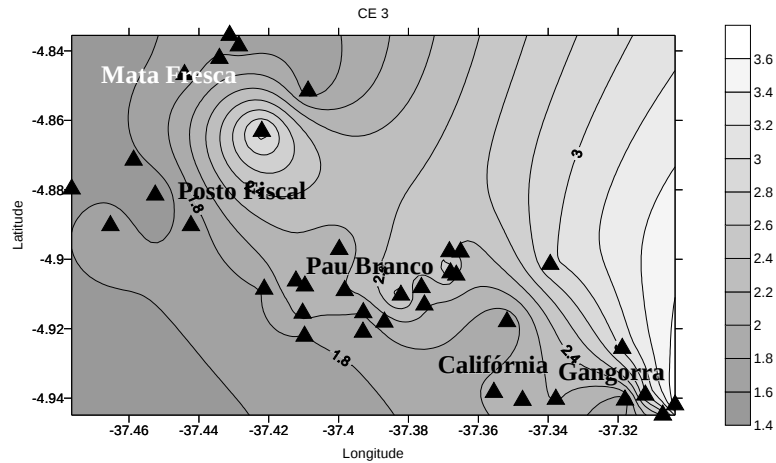
A



B



C



D

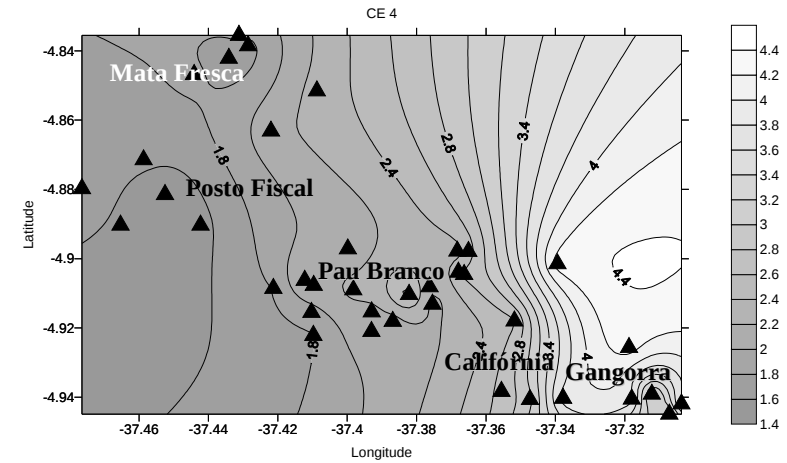
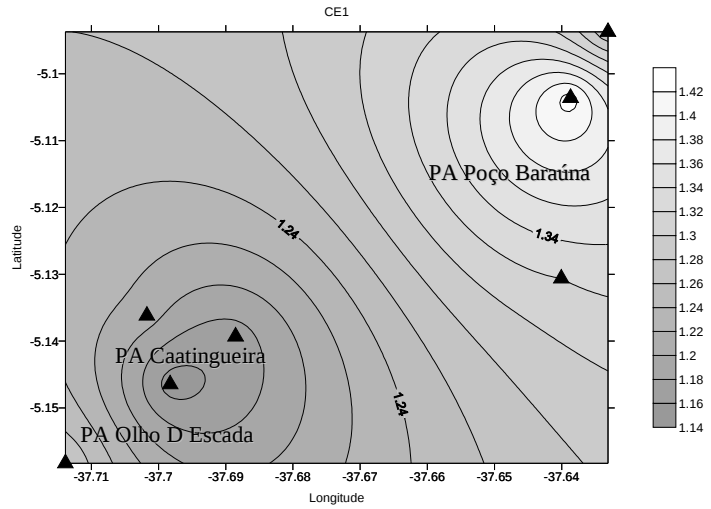
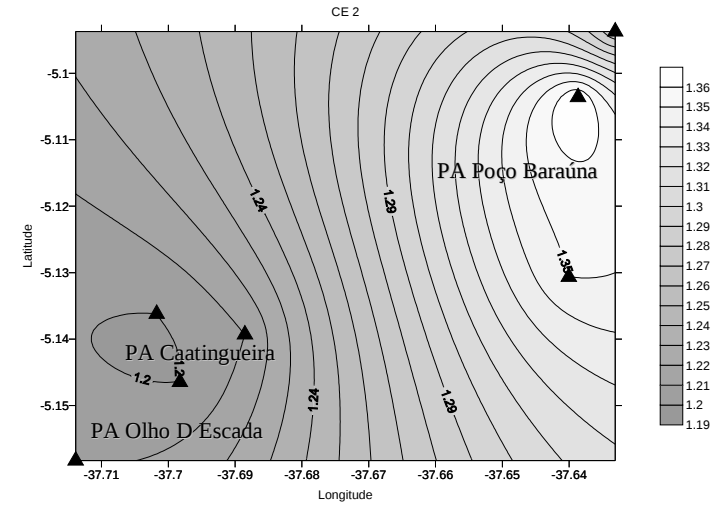


Figura 10. Mapas representando o comportamento da condutividade elétrica em dS/m, das localidades de Gangorra, Califórnia, Pau Branco, Posto Fiscal e Mata Fresca nas diferentes épocas, A) 1ª Coleta jul/05; B) 2ª Coleta dez/ 05; C) 3ª Coleta jul/ 06; D) 4ª Coleta dez/ 06.

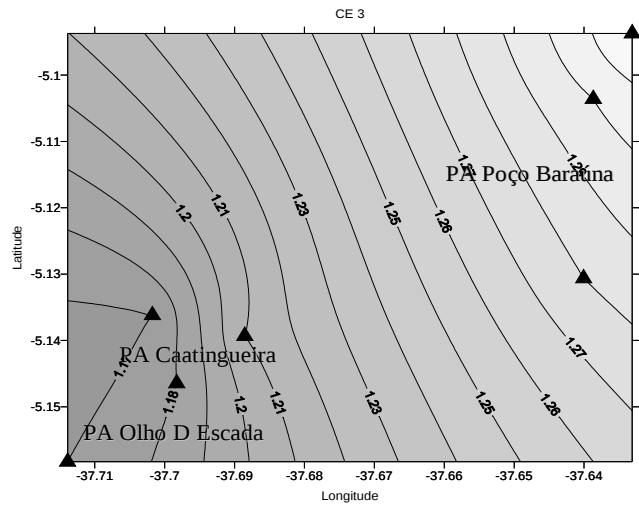
A



B



C



D

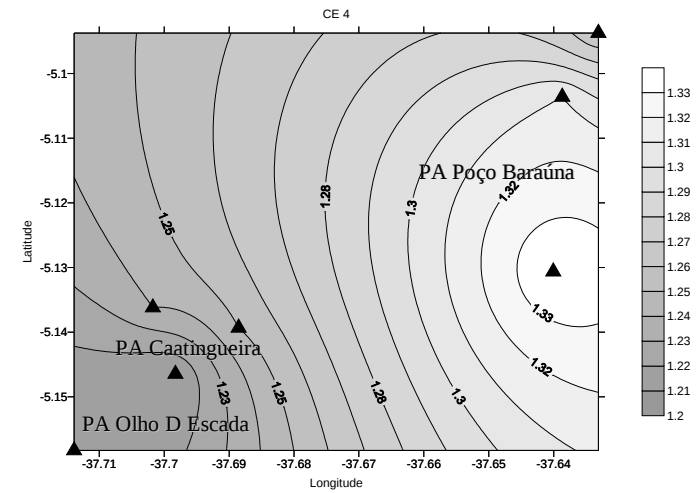


Figura 11. Mapas representando o comportamento da condutividade elétrica em dS/m, das localidades de Baraúna nas diferentes épocas, A) 2ª Coleta dez/ 05; B) 3ª Coleta jul/ 06; C) 4ª Coleta dez/ 06.

Na figura 12, observa-se o comportamento da condutividade elétrica (CE) nas diferentes épocas de coleta, onde se verifica que a classe 1,0-1,5 dS m⁻¹ apresentou redução na frequência relativa quando comparadas as águas do mesmo período (pós chuvas ou final da estiagem) de anos subsequentes, na ordem de 24% no período pos chuvas e 20% no final da estiagem.

Com relação a classe de águas de CE de 1,6-2,0 dS m⁻¹, comparando-se os mesmos períodos (pós chuvas e final da estiagem) de anos seguidos, observa-se incremento da ordem de 22% entre as coletas do período pós chuvas de julho de 2005 e julho de 2006, e 25% no período de final da estiagem. Isto indica uma tendência ao incremento da salinidade das águas desta região.

No tocante as águas da classe de CE de 2,1 – 3,0 dS m⁻¹, verifica-se pequenas variações entre

Na classe da água de 3,1 e 4,0 verificam-se incrementos de 50% da 1ª para a 2ª e 33% da 2ª para a 3ª coleta, e reduções na frequência relativa da ordem de 33% da 3ª para a 4ª coleta.

Já a classe de águas de CE > 4,0, foi verificada maior incidência nos períodos de final da estiagem e incremento na frequência relativa da ordem de 100% entre o período do final da estiagem de 2005 e final da estiagem de 2006.

Confrontando o mapa hidrogeológico da região estudada (SUDENE, 1980) com o mapa da salinidade da água (Figura 10), observa-se que os menores valores de salinidade estão na área da Formação Calcário Jandaíra, enquanto as mais salinas estão na área da Formação Grupo Barreira. Isso pode ser explicado pela recarga direta pelos “sumidouros” do aquífero dos poços situados nas áreas de afloramento do Calcário Jandaíra, diluindo os sais sistematicamente a cada período chuvoso que acontece na região, o que não acontece com o aquífero situado abaixo da outra formação, pois a água tem que percorrer um trecho bem superior, fator este considerado por Cruz & Melo (1969) para explicar parte da salinidade das águas subterrâneas na região Nordeste do Brasil.

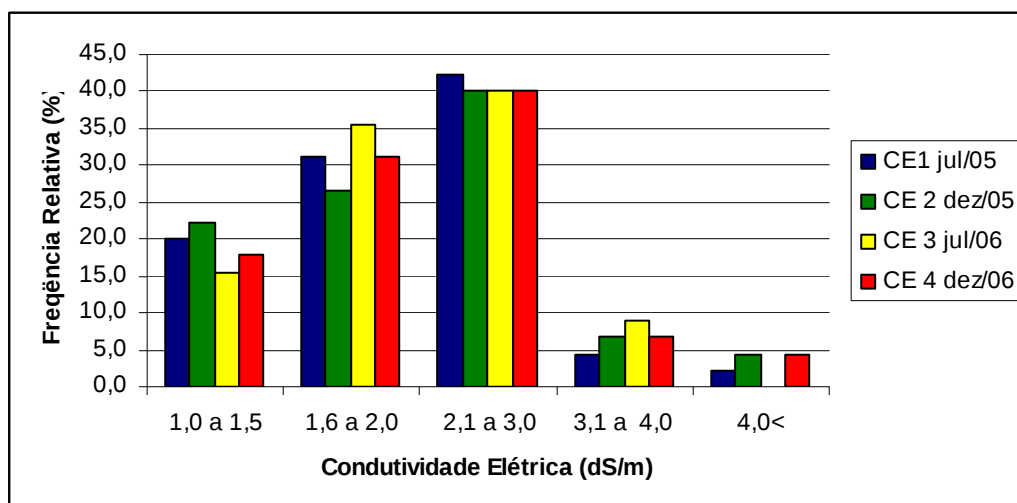


Figura 12. Frequência relativa da condutividade elétrica das águas dos poços nas diferentes épocas de coleta.

4.6. Manejo da água e tolerância das culturas considerando os valores de CE das águas dos poços

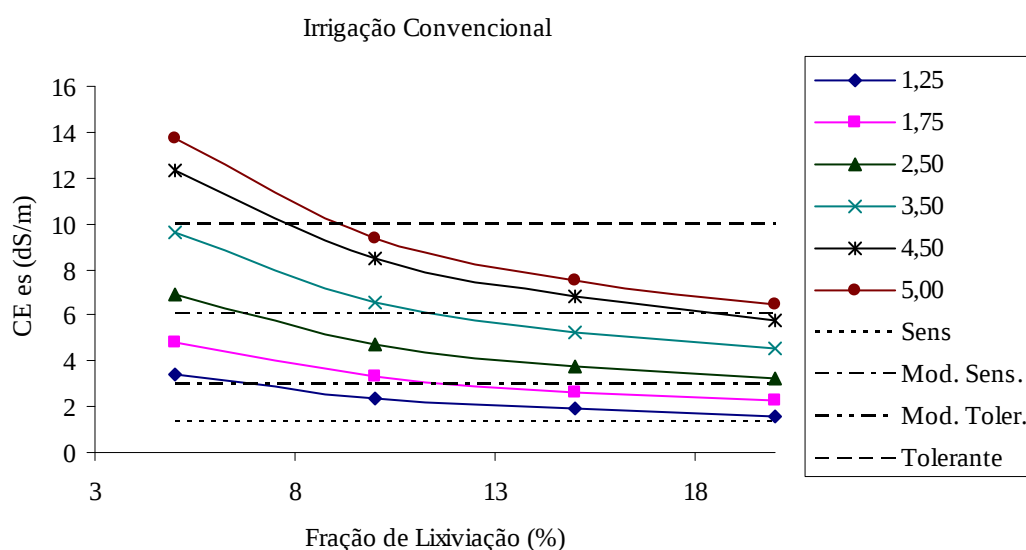


Figura 13- Comportamento da CEes em função da CEa e da fração de lixiviação aplicada através de método de irrigação de alta frequência.

O uso da irrigação com águas de qualidade inferior em regiões semi-áridas exige manejo adequado, com aplicação de frações de lixiviação e o uso sistemas de drenagem, como estratégia para minimizar a acumulação de sais na área do sistema radicular das culturas.

Verifica-se na figura 13 que as culturas classificadas como tolerantes (algodão, coqueiro, grama) podem ser irrigadas sem nenhuma restrição pelo método convencional quando se utiliza águas com $CE \leq 3,5 \text{ dS m}^{-1}$. Logo as águas das localidades de Pau Branco, Mata Fresca e Baraúna podem ser aplicadas nestas culturas sem restrições. Já as águas das localidades de Gangorra ($CEa \text{ } 3,22 \text{ dS/m}$) e Califórnia ($CEa \text{ } 3,07 \text{ dS/m}$) apresentam restrição na época do final da estiagem para o uso por irrigação convencional em culturas tolerantes, recomendando-se uma fração de lixiviação de $\geq 4\%$ e 2% , respectivamente.

Para se utilizar águas com CEa de $4,5$ e $5,5 \text{ dS/m}$ (não encontradas neste estudo) na irrigação convencional, sem que haja prejuízos às culturas tolerantes, deve-se aplicar frações de lixiviação $\geq 8\%$ e 10% , respectivamente.

Nas culturas moderadamente tolerantes (mamão, abobrinha, sorgo, etc) a irrigação convencional pode ser utilizada sem nenhuma restrição quando se utilizar águas com $CEa \leq 1,75 \text{ dS m}^{-1}$ (Baraúna $CEa \text{ } 1,27 \text{ dS/m}$), contudo, estas culturas não suportam irrigação com águas de $CEa \geq 5 \text{ dS m}^{-1}$, sem que haja prejuízos. Para se utilizar águas com $CEa \text{ } 2,5$; $3,5$ e $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ sem redução no rendimento, é preciso adicionar lâmina de irrigação com frações de lixiviação $\geq 5\%$, 10% e 18% , respectivamente. Estas culturas podem ser irrigadas sem prejuízos com as águas de todas as localidades, desde que se apliquem frações de lixiviação adequadas. Nas localidades de Gangorra e Califórnia deve-se aplicar fração de lixiviação de $\geq 5\%$, já nas localidades de Pau Branco, Mata Fresca e Baraúna deve-se aplicar fração de lixiviação $\geq 2\%$.

As águas de Gangorra e Califórnia ($CEa \geq 2,5 \text{ dS/m}$) são inadequadas para a irrigação convencional em culturas moderadamente sensíveis. Já as águas de $1,25$ e $1,75 \text{ dS m}^{-1}$ podem ser aplicadas sem prejuízos às culturas, desde que se acrescente à lâmina de irrigação frações de lixiviação $\geq 7\%$ e 12% , respectivamente. Nas localidades de Posto Fiscal, Mata Fresca e Baraúna deve-se aplicar lâmina de irrigação com frações de lixiviação de 18% , 19% e 08% , respectivamente.

Com relação às culturas sensíveis, apenas as águas das localidades de Posto Fiscal e Baraúna poderão ser utilizadas por irrigação convencional, sem prejuízos nas culturas, desde que se utilizem frações de lixiviação de 20% e 8% , respectivamente.

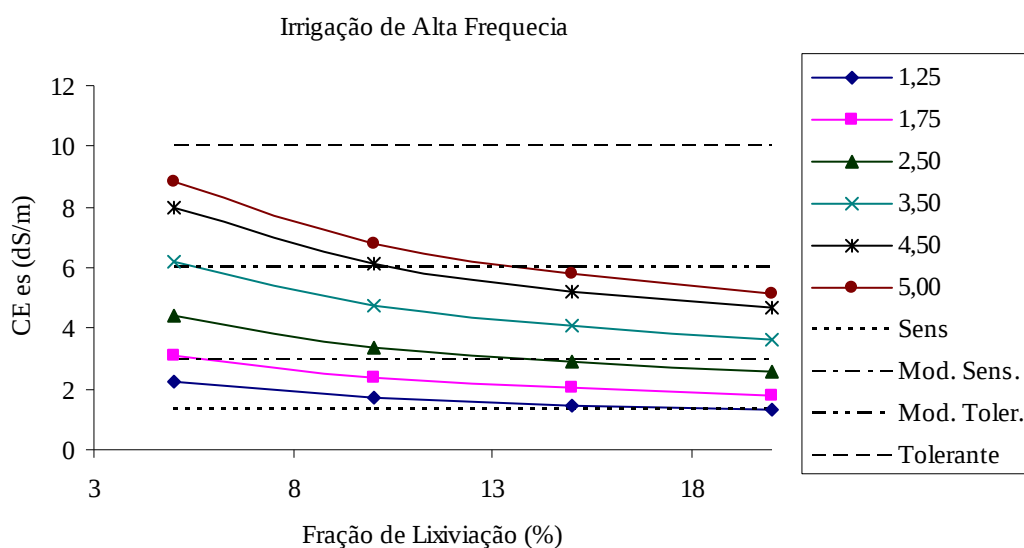


Figura 14. Comportamento da CEEs em função da CEA e da fração de lixiviação aplicada através de método de irrigação de alta frequência.

Utilizando-se irrigação de alta frequência (figura 14), todas as águas avaliadas podem ser aplicadas na irrigação das culturas tolerantes. Para as moderadamente tolerantes, existem restrições para águas com $CEa > 3,5 \text{ dS m}^{-1}$. Já as águas com CEa de 4,5 e 5,5 dS m^{-1} devem ser aplicadas utilizando-se frações de lixiviação $\geq 10\%$ e 15% . No caso das águas das localidades de Gangorra e Califórnia, devem-se aplicar frações de lixiviação de 2%, as demais localidades não apresentaram restrições.

Com relação às culturas moderadamente sensíveis, não podem ser irrigadas sem que haja prejuízos pelas águas de $CEa \geq 3,5 \text{ dS m}^{-1}$. Já as águas de CEa de 2,5 dS m^{-1} podem ser utilizadas sem prejuízos na produção, desde que se aplique fração de lixiviação $\geq 14\%$.

As águas de CEa 1,25 e 1,75 dS m^{-1} podem ser utilizadas sem nenhuma restrição em culturas moderadamente sensíveis.

Todas as localidades apresentaram águas adequadas à irrigação de culturas moderadamente sensíveis pelo método de alta frequência, desde que se apliquem frações de lixiviação de 8% nas localidades de Gangorra e Califórnia, 3% no Pau Branco e 2% em Posto Fiscal, Mata Fresca e Baraúna.

Observa-se, também, que as culturas sensíveis só podem ser irrigadas pelo método de irrigação de alta frequência, desde que utilizada água com $CEa < 1,25 \text{ dS m}^{-1}$ e aplicando-se fração de lixiviação $\geq 18\%$.

As águas das localidades de Gangorra, Califórnia e Pau Branco não se adequam à irrigação de culturas sensíveis, já as águas das localidades do Posto Fiscal, Mata fresca e

Baraúna podem ser aplicadas, desde que se apliquem frações de lixiviação adicionais à lâmina de irrigação de 18%, 10% e 17%, respectivamente.

Para assegurar rendimentos máximos das culturas, recomenda-se estabelecer o manejo da irrigação conforme a CEa e a salinidade do solo (CEes) que a cultura tolera (Rhoades et al. 1992).

5. CONCLUSÕES:

O nível dinâmico dos poços, em média, é de 18 m, sofrendo variações em função da época chuvosa e da localização dos mesmos. Durante o período chuvoso, os poços recuperaram o nível dinâmico com a elevação do lençol freático, mas sua intensidade dependeu da localidade/região.

Existe pequena variabilidade na salinidade da água entre os poços das mesmas localidades, mas entre as localidades ocorrem variações significativas, variando em média entre 1,15 a 4,41 dS m⁻¹.

As águas apresentam baixa sodicidade e elevada alcalinidade.

Parte dos poços apresenta águas com salinidade e toxicidade do cloreto, que podem afetar o rendimento de culturas sensíveis a moderadamente sensíveis à salinidade.

Há necessidade de se selecionar culturas em função do método de irrigação e da localidade onde se deseja cultivar para atender a sua tolerância à salinidade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J.M. H.; LOPES, J. R.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J.F. G. **El riego localizado**. Madrid, IRYDA, 1987. 317p.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade de água na agricultura** 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1

ALENCAR, R.D.; MEDEIROS de, J. F.; GERHARDT, M.A.; PORTO, V.C.N.; **Evolução da condutividade elétrica e do nível dinâmico em poços da Chapada do Apodi utilizados para irrigação**. In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, **Anais**(CD ROM), João Pessoa - PB, SBEA, 2006.

AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1985. 178p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29)

AYERS, R. S. & WESTCOT, D. W., **A qualidade da água na agricultura**. Trad. Gheyi, H. R.; Medeiros de, J. F. & Damasceno, F. V. A., Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29. Revisado 1.

AZEVEDO, A.A.; FREITAS, M. **Poços de Baraúna secam e prejudicam agricultura**. Editorial Rcentrium, Editorial, 05-03-03. Disponível em: <<http://www.rcentrium.com/ed/biblio/030305d/ci98025.htm>>. Acesso em: 20/10/05.

BARROS, Maria de F. C., FONTES, Maurício P. F., ALVAREZ V., Víctor H. et al. **Recuperação de solos afetados por sais pela aplicação de gesso de jazida e calcário no Nordeste do Brasil**. Revista brasileira engenharia agrícola ambiental., jan./abril. 2004, vol.8, no.1, p.59-64.

BAR-YOSEF, B. **Fertilization under drip irrigation**. In: PALGRAVE, D. A. (Ed.) **Fluid fertilizer: science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1991. cap.14, p.285-329. (Fertilizer Science and Technology Series, 7).

BERGMANN, W. (ed.). **Nutritional disorders of plants**. New York: G. Fischer, 1992. 741p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7º edição Viçosa, 2005.

BERNSTEIN, L. **Effects of salinity and sodicity on plant growth**. Annu. Ver. Plant Pathol. v. 13., 295 – 312, p. 1964.

BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. **Folhas S.B. 24/25 Jaguaribe/Natal; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1981. 744p. (Levantamento de Recursos Naturais, 23).

BORGHETTI, N.R.B.; BORGHETTI, J.R.; ROSA FILHO, E.F. **Aquífero Guarani: A verdadeira integração dos países do mercosul**. Curitiba:Maxigáfica, 2004. 214p.

BURT, C. O'CONNOR, K. & RUEHR, T. **Fertigation**. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 1995. 295p. (Irrigation Training and Research Center)

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

COSTA, R.G. **Caracterização da qualidade de água de irrigação na microrregião homogênea de Catolé do Rocha (MRH - 89)**. Campina Grande: UFPB, 1982. 89p. Dissertação Mestrado.

CRUCIANE, D. E. **Drenagem na agricultura**. Ed. Nobel. 1987, 337p.

CRUZ, W.B.; MELO, F.A.C.F. de. **Zoneamento químico e salinização das águas subterrâneas do Nordeste do Brasil**. In: Boletim de Recursos Naturais - SUDENE. v.7, n.1/4, p.7-40, 1969.

CRUZ, M.G.M.; ANDRADE, E.M.; NESS, R.L.L.; MEIRELES, A.C.M. **Caracterização das águas superficiais e subterrâneas do projeto Jaguaribe-Apodi**. Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.23, n. 1, p. 187-194, 2003.

DIAS, N. da S., MEDEIROS, J. F. de, GHEYI, H. R. **Evolução da salinidade em um Argissolo sob cultivo de melão irrigado por gotejamento**. Rev. bras. eng. agríc. ambient., May/Dec. 2004, vol.8, no.2-3, p.240-246.

EGREJA FILHO, F. B., MAIA, C. E. & MORAIS, E. R. C. **Método computacional para correção da alcalinidade de águas para fertirrigação**. Revista Brasileira de ciência do solo, v.23, n.2, abr.-jun., 1999.

EMBRAPA (Centro Nacional de Pesquisa de solos) **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro. 1997. 212p. 2ª edição.

FAGERIA, N. K. R. **Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas**. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.2, p.6-16, 1998.

FERNANDES, M.A.B., SANTIAGO, M.M.F. **Salinidade das águas subterrâneas no Calcário Jandaíra – Chapada do Apodi**. 2001. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/efnne/xix/programa/res0297.pdf>>. Acesso em: 16/07/2005.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. **Operational Principles - Emitter Clogging**. In: NAKAYAMA, F. S. e BUCKS, D. A. (Ed.) **Trickle Irrigation for Crop Production - Design, Operation and Management**. Amsterdam: ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B. V. 1986. cap.3, p.142-240.

GHEYI, H.R. **Relatório de atividades e trabalhos desenvolvido durante o período de dezembro de 1985 a maio de 1986**. Campina Grande: UFPB, 1986. (Proc. 200.764-85 AG-CNPq).

HOLANDA, J.S. de; AMORIM, J.R.A de. **Qualidade da água para irrigação**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande.

IDEMA (Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente). **Perfil do seu Município**. Disponível em: <<http://www.rn.gov.br/secretarias/idema/perfil/Barauna/Baraúna.doc>>. Acesso em: 07/08/2005.

KRAMER, P. J. **Plant e soil water relationships: a modern synthesis**. New York: Macgraw Hitl, 1969.

LARAQUE, A. **Estudo e previsão da quantidade de água de açudes do Nordeste semi-árido brasileiro**. Recife, SUDENE, 1989. 95p. (SUDENE, Série Hidrológica, 26).

LAUCHLI, A. & EPSTEIN, E. **Mechanisms of salt tolerance in plants**. California Agriculture, v. 38, nº 10, p. 18-21. Dez., 1984.

LEAL, A.S. **As águas subterrâneas no Brasil: Ocorrências, disponibilidades e uso**. In: FREITAS, M.A.V. (Org.). **O Estado das Águas no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas; Ministério do Meio Ambiente, Secretaria dos Recursos Hídricos, Ministério de Minas e Energia, 1999. 334p.

LEPRUN, J.C. **Primeira avaliação das águas superficiais do Nordeste**. Relatório final do Convênio Manejo e conservação do Solo do Nordeste Brasileiro. Recife: SUDENE - DRN, 1983. p.91-141 (Convênio SUDENE/ORSTON).

LIMA, L. A., **Efeitos de sais no solo e na planta**. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada, Campina Grande: UFPB, 1997. pg. 113 – 133.

MAAS, E.V.; HOFFMAN, G.J. **Crop salt tolerance - Current assessment**. Proc. J. Irrig. and Drainage, v.103, p.115-134. 1977.

MAAS, E.V. Salt tolerance in plants. Applied agricultural research. **Applied Agricultural Research**, v.1, p.12-26, 1986.

MAIA, C. E. **Qualidade da água para fertirrigação nas regiões da chapada do Apodi e Baixo Assu - RN Oeste Potiguar**. Mossoró, 1996. - Escola Superior de Agricultura de Mossoró. Monografia (Especialização).

MARTINS L. H. **Avaliação da qualidade da água nos mananciais superficiais disponíveis para irrigação na zona Oeste Potiguar**. Mossoró, 1993. - Escola Superior de Agricultura de Mossoró. Monografia (Graduação)

MARTINS L. H.; AMORIM, J. R. A. de; MEDEIROS, J. F. de & HOLANDA, J. S. de. **Correlações entre características químicas da água para irrigação na zona Oeste Potiguar**. In: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Anais(CD ROM), Campina Grande - PB, UFPB/SBEA/CCT, 1997.

MEDEIROS, J.F. de. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos estados do RN, PB e CE.** Campina Grande: UFPB, 1992.173p. Dissertação de Mestrado.

MEDEIROS, J.F. de; GHEYI, H.R. **Manejo do sistema solo-agua-planta em solos afetados por sais.** In: Gheyi, H.R.; Queiroz, J.E.; Medeiros, J.F. de. Manejo e controle da salinidade da agricultura irrigada. Campina Grande: UFPB, SBEA, 1997. Cap.8, p.239-284.

MEDEIROS, J.F. de, **Manejo da água de irrigação salina em estufa cultivada com pimentão.** Piracicaba, 1998. 152p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MEDEIROS, J.F. de; LISBOA, R. de A.; OLIVEIRA, M. de et al. **Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, set/dez. 2003, vol. 7, n.3, p.469-472.

MMA (Ministério do Meio Ambiente). **Plano Nacional de Recursos Hídricos.** Documento base de referência – minuta. Revisão. Secretaria Nacional dos Recursos Hídricos e Agência Nacional das Águas. Brasília, DF, 2003. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/pnrh/DOCUMENTOS/5Textos/2OPlano%20Nacional4_04_03.pdf> . Acesso em: 12/10/2006.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle Irrigation for Crop Production - Design, Operation and Management.** Amsterdam, Elsevier Science Publishers. 1986, p. 383p.

NUNES FILHO, J.; SILVA, S. R. da; SOARES, M. J. C. do C. **Correlações entre íons e a salinidade de águas subterrâneas e superficiais, visando a irrigação, no sertão de Pernambuco.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Campina Grande - PB, **Anais** (CD ROM), UFPB/SBEA/CCT, 1997.

OLIVEIRA, M.; MAIA, C. E. **Físico química das águas em mananciais superficiais e subsuperficiais na área de sedimentos do Estado do Rio Grande do Norte.** In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Rio de Janeiro, 20 a 26 de julho de 1997, **Anais** (CD ROM)

OLIVEIRA, M.; MAIA, C. E. **Qualidade físico-química da água para a irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do Estado do Rio Grande do Norte.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.2, n.1, p.17-21, jan.-abr., 1998.

PALÁCIOS, O.; ACEVES, E. **Instructivo para el muestreo registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola.** Champino: Colegio de Postgraduados- Escuela Nacional de Agricultura, 1970. 47p.

PEDROSA, C. A; CAETANO, F. A. **Águas Subterrâneas.** Brasília: Agência Nacional de Águas, Superintendência de Informações Hidrogeológicas, 2002. 85p. Disponível em: <www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/aguasSubterr/EstudoAguasSubterraneasANA22-08-02.doc> Acesso em: 16/07/05.

QUEIROZ, J. E.; GHEY, H. R.; SOUSA, J. R.; MEDEIROS, R. V. de. **Variabilidade da qualidade da água de irrigação da microbacia do Rio da Cruz, município de São José do Bonfim, Estado da Paraíba.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, Poços de Calda - MG, **Anais**, SBEA, UFLA, v.2, p.169-171, 1998.

REBOUÇAS, A., FILHO, M.; BENOIT H. **Bacia Potiguar - Estudo Hidrogeológico.** Recife. SUDENE - Divisão de Documentação, 1967.

Richards, L.A. (ed.) **Diagnosis and improvement of saline and alkali soil.** Washington: United States Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p. USDA. Handbook, 60.

REBOUÇAS, A., FILHO, M.; BENOIT H. **Bacia Potiguar - Estudo Hidrogeológico.** Recife. SUDENE - Divisão de Documentação, 1967.

RICHARDS, L.A. (ed) **Diagnosis and improvement of saline and alkail soil.** Washington: ited States Salinit Laboratory Staff, 1954. USDA. Handbook, 60

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **The use of saline wateres for crop production.** Rome, FAO, 1992. (FAO irrigation and drainage paper, 48).

RHOADES, J.D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A.M. **Uso de águas salinas para produção agrícola.** Trad. de GUEYI, H.R.; SOUSA, J.R.; QUEIROZ, J.E. Campina Grande: UFPB, 2000. 117 p.

ROLSTON, D. E.; MILLER, R. J; SCHULBACK, H. **Management Principles: Fertilizacïon** In: NAKAYAMA, F. S; BUCKS, D. A. (Ed.) **Trickle irrigation for crop production: design, Operation and management** Amsterdam: Elsevier science publishers,. 1986. cap.4, p.317-344.

RUIZ, H. A., SAMPAIO, R. A., OLIVEIRA, M. del. **Características químicas de solos salino-sódicos submetidos a parcelamento da lâmina de lixiviação.** *Pesq. agropec. bras.*, Nov. 2004, vol.39, no.11, p.1119-1126.

SUAREZ, D.L. **Relation between pH_c and sodium adsorption ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil and drainage water.** *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 1981. 45: 469-475.

SERHID (Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos). **Serhid vai lançar cartilha educativa para preservação do aquífero Jandaíra.** 2003. Disponível em: <<http://www.assecom.rn.gov.br/notAnt.asp?idnoticia=1572>>. Acesso em: 16/07/2005.

SERHID (Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos). **Serhid edita normas para garantir água para irrigação em Baraúna.** 2004. Disponível em: <<http://www.assecom.rn.gov.br/notAnt.asp?idnoticia=245>>. Acesso em: 25/06/2005.

SERHID (Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos). **Bacia 01 – Apodi-Mossoró.** 2005. Disponível em: <<http://www.assecom.rn.gov.br/notAnt.asp?idnoticia=137>>. Acesso em: 16/07/2005.

SILVA FILHO, S.B; CAVALCANTE, L.F.; OLIVEIRA, F.A.; COSTA, J.R,M. **Monitoramento da qualidade da água e acúmulo de sais no solo pela irrigação.** Irriga, Botucatu, v. 5, n. 2, p. 112-125, 2000.

SHALHEVET, J. **Using water of marginal quality for crop production: major issues.** Agricultural and water management, v.25, p. 233-269, 1997.

SHIKLOMANOV, I.A. **World water resources – a new appraisal and assessment for the 21st century.** Paris: International Hydrological Programme/ONU, 1998. 37p.

SERHID (Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos). **Bacia 01 – Apodi-Mossoró.** 2005. Disponível em: <http://www.assecom.rn.gov.br/not_Ant.asp?idnoticia=137>. Acesso em: 16/10/2006.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, A. R.; MEDEIROS, J. F. **Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, 1999.

SILVA, E. F. F. **Manejo da fertirrigação e controle da salinidade na cultura do pimentão utilizando extratores de solução do solo.** Piracicaba, 2002. 136p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo.

SUASSUNA, J., **O processo de salinização das águas superficiais e subterrâneas no Nordeste Brasileiro.** Fundação Joaquim Nabuco.
<http://www.fundaj.gov.br/docs/tropico/desat/orig2.html>

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE– Departamento de Recursos Naturais. **Plano de aproveitamento integrado dos recursos hídricos do Nordeste do Brasil-** FASE I- Síntese do Diagnostico. Volume XIV. Recife, 1980c.

TAYER, J. F. **Effect of irrigation methods with saline water on maize production and salt distribution in soils.** Bari. 1987. 285p. Dissertation (Master of Science in Irrigation)- Institut Agronomique Mediterranéen de Bari, Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Mediterraneeenes.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial de solo. IN: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.;SCHAEFER, CEGR. **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo,2000. v.1,p.1-54.

VILLAS BÔAS, R. L.;BOARETO, A. E.; VITTI, G. C. **Aspectos da fertirrigação.** In: VITTI, G. C. BOARETO, A. E. (Ed) **Fertilizantes fluidos:** Piracicaba: PATAFOS, 1994, cap. 15, p. 283-308.

APÊNDICE 1 : Questionário aplicado nas empresas com poços avaliados

Questionário

1-Dados referentes ao produtor:

1.1-Nome:

1.2-Endereço:

1.3-Telefone: e-mail:

2-Dados referente a propriedade:

2.1-Nome da propriedade:

Município:

2.2-Área total da propriedade:

2.3-Culturas implantadas:

A) Sequeiro/ áreas

B) Irrigadas/ áreas

Cultura	Área irrigada máxima por vez	Área total no ano

2.4-Culturas a implantar (irrigadas)/áreas

Cultura	Período de plantio	Área irrigada máxima por vez	Área total no ano

2.4-Quais as fontes de água

2.5-Possui quantos poços

3-Dados referentes aos poços:

3.1. Propriedade:_____ Proprietário:_____

3.1. Identificação do poço:

3.2. Coordenadas geográficas:

3.1. Profundidade:

3.2. Diâmetro

3.3. Ano de perfuração:

3.4. Quem perfurou:

3.5. Possui revestimento:

A) Que tipo:

B) Ate qual profundidade:

3.6. Qual a vazão na época da perfuração:

3.7. Possui perfil do poço:

3.8. Qual a potência da bomba:

3.9. Possui análise da água da época da perfuração

3.10. Faz acompanhamento sistemático do nível do lençol freático:

3.11. Se sim, de quanto em quanto tempo:

3.12. Faz acompanhamento sistemático da qualidade da água do poço:

3.13. Se sim de quanto em quanto tempo:

3.14. Se sim, a qualidade da água esta melhorando ou piorando? Porque?

3.15. Qual o nível estático:

3.16. Qual o nível dinâmico:

3.17. Qual foi o nível estático máximo e mínimo? E quando ocorreu?

3.18. Já houve secamento do poço? Quando?

3.17. CE atual:

3.18. pH atual:

3.17. Qual a vazão extraída atualmente:

3.18. Qual a vazão máxima bombeada:

APÊNDICE 2 :.Classificação da tolerância das culturas em função da Salinidade do Extrato do solo.

Grupos de tolerância relativa	Salinidade Limiar do Extrato do Solo CE es (dS/m)	Culturas
Sensível	<1,3	Maracujá Laranja Mangueira Banana Cenoura Cebola
Moderadamente sensível	1,3-3,0	Abóbora Melão Melancia Tomate Mamona Milho Pimentão Feijão Caupi Alface
Moderadamente Tolerante	3,0-6,0	Mamão Abacaxi Umbuzeiro Sorgo Abobrinha
Tolerante	6,0-10,0	Algodão Coqueiro Gramma de burro
Não adequada à maioria das culturas	10<	