



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**



DÉBORA SAMARA CRUZ ROCHA FARIAS

**AVALIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DOS TEORES DE SAIS NAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-PB**

CAMPINA GRANDE, PB

AGOSTO, 2016

DÉBORA SAMARA CRUZ ROCHA FARIAS

**AVALIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DOS TEORES DE SAIS NAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

ORIENTADOR: Prof^o. Dr. JOSÉ DANTAS NETO

CAMPINA GRANDE, PARAÍBA
AGOSTO, 2016

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me ter dado vida, saúde, força e inteligência, pelo propósito de ter colocado, em meu coração, o desejo de fazer este mestrado; pelas barreiras e desafios vencidos que a cada dia me tornaram mais forte e mais vitoriosa.

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pela oportunidade de realizar este curso, e à Capes pela concessão da bolsa.

A meus pais, Divanete Cruz Rocha Farias e Antônio Rufino de Farias, por todos os ensinamentos e lições que serviram de caminho e inspiração para que eu chegasse até aqui. A meu esposo Eduardo de Mello Silva, pelo apoio e incentivo. A minha avó, Maria Eugênia Rocha, Divanda Cruz Rocha, Dinalva Cruz Rocha e Divaneide Cruz Rocha; e a toda família que de maneira direta ou indireta, me ajudou.

Ao professor José Dantas Neto, por sua orientação, pelas dúvidas esclarecidas e pelas valiosas críticas e sugestões apresentadas na elaboração deste trabalho e em todo o período que permaneci na UFCG.

À professora e amiga Soahd Arruda Rached Farias, pela grande ajuda nas coletas de dados em campo e interpretação dos dados, além da contribuição como examinadora, seus ensinamentos contribuíram não apenas para a pesquisa, mas também para minha evolução profissional e pessoal.

Aos professores do Mestrado em Engenharia Agrícola: Carlos Azevedo, Hugo Orlando Carvalho Guerra, Marx Prestes Barbosa, José Dantas Neto e Vera Lúcia Antunes de Lima, que me proporcionaram a oportunidade de expandir meus conhecimentos.

A Carlos Lamarque Guimarães por toda a ajuda prestada.

A Gilberto Möbus Hidrogeólogo DHIMA / FUNCEME do software Qualigraf.

Ao professor Kepler Borges França de Engenharia Química pelas dúvidas esclarecidas.

Ao Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) da UFCG e seus integrantes: em especial; Francisco e Wilson, pelo intenso trabalho realizado para a análise das amostras de águas. Aos secretários da Coordenação, Aparecida e Gilson, pela presteza no atendimento.

Ao Diretor de Turismo Flávio Alex Farias pela oportunidade de realizar minha pesquisa naquela cidade.

Aos alunos Vanessa Soares Borborema, José Barbosa de Farias Junior, Valeria Borborema Soares, Gabriel França Barbosa, Dayse Gabriela Ramos Pereira, Jessica Araujo da Silva, Rafaela Cabral Gomes e Arthur Borborema Porto, Micaela Teixeira Domingos Pereira, bolsistas do PIBIC Ensino Médio/CNPq-UFCG por me auxiliarem durante a coleta de dados.

A todos os proprietários rurais que, com toda a simplicidade, nos receberam muito bem em suas propriedades e prestaram informações valiosas.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
SIMBOLOS E ABREVIACOES.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	17
2.1. OBJETIVO GERAL.....	17
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	18
3.1. QUALIDADE DE ÁGUA.....	18
3.2. ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	21
3.3. AQUÍFERO.....	22
3.4. PROVÍNCIAS HIDROGEOLÓGICAS DO NORDESTE DO BRASIL.....	23
3.5. ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO.....	24
3.6. ÁGUA PARA CONSUMO ANIMAL.....	26
3.7. ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO.....	28
3.8. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS.....	30
3.9. CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A USSL.....	35
3.10. LEGISLAÇÃO.....	36
3.11. INCRUSTAÇÃO E CORROSÃO.....	37
3.11.1. ndice de Saturaco de Langelier (LSI).....	38
3.11.2. ndice de Estabilidade de Ryznar (RSI).....	39
3.12. CARBONATO DE SÓDIO RESIDUAL.....	40
3.13. COEFICIENTE DE PEARSON.....	41
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	43
4.2. RECURSOS HIDRICOS.....	44
4.3. VEGETAÇÃO.....	44
4.4. PRECIPITAÇÃO.....	44

4.5.	SOLOS.....	45
4.6.	CONDUÇÃO DOS TRABALHOS DE CAMPO.....	47
4.7.	PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS.....	47
4.8.	PROCEDIMENTOS DE COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA.....	48
4.9.	TIPOS DE FONTE.....	50
4.10.	ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS.....	51
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
5.1.	CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	52
	5.1.1. Uso das Águas.....	52
5.2.	DIAGRAMA DE PIPER.....	53
5.3.	ANÁLISE DE PIPER.....	54
5.4.	ANÁLISE DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	59
5.5.	MAPA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA ÁGUA DO MUNICÍPIO DE BOA VISTA – PB.....	61
5.6.	CORRELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA ÁGUA E OS DEMAIS PARÂMETROS.....	63
5.7.	MATRIZ DE CORRELAÇÃO.....	70
5.8.	MATRIZ DE CORRELAÇÃO 2.....	72
5.9.	ANÁLISE DA INCRUSTAÇÃO E CORROSÃO.....	73
5.10.	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO EM RELAÇÃO AOS PARÂMETROS FÍSICO – QUÍMICOS.....	74
	5.10.1. Condutividade elétrica da água (CEa)	74
	5.10.2. Sólidos Dissolvidos Totais.....	76
	5.10.3. Potencial Hidrogenionico (pH)	76
	5.10.4. Alcalinidade Total.....	77
	5.10.5. Dureza Total.....	78
	5.10.6. Cátions (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺ e K⁺).....	79
	5.10.7. Ânions (Cl⁻, CO₃⁻, HCO₃⁻).....	81
5.11.	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA CONSUMO ANIMAL.....	82
	5.11.1. Quanto ao Teor de Magnésio na Água.....	87
5.12.	QUALIDADE DE ÁGUA PARA AS AVES.....	89
5.13.	CARBONATO DE SÓDIO RESIDUAL.....	92
5.14.	POTENCIAL HIDROGENIÔNICO.....	93
5.15.	RELAÇÃO Ca ⁺⁺ /Mg ⁺⁺	93

5.16.	CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA FINS DE IRRIGAÇÃO.....	94
6.	CONCLUSÕES.....	109
7.	RECOMENDAÇÕES.....	111
8.	REFERÊNCIAS	112
	APÊNDICE.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Padrão da água para consumo humano, segundo a Portaria nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011, do Ministério da Saúde.....	25
Tabela 2	Limites máximos dos parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da água para consumo humano.....	25
Tabela 3	Classificação das águas para consumo animal (bovinos e aves).....	26
Tabela 4	Níveis sugeridos de magnésio nas águas de consumo animal (bovinos e aves ¹).....	27
Tabela 5	Teores máximos aceitáveis de cloretos para diversas espécies/categorias animais.....	27
Tabela 6	Padrões de qualidade da água para dessedentação de aves.....	28
Tabela 7	Parâmetros de interpretação da qualidade da água para irrigação, conforme a UCCC.....	29
Tabela 8	Resultados das análises de laboratório necessários para análise da qualidade da água para irrigação.....	30
Tabela 9	Classificação dos valores do LSI e RSI, adaptado de Grades (2004).....	39
Tabela 10	Distribuição de chuvas acumuladas mensalmente, entre os anos de 2014 e 2015 no município de Boa Vista – PB.....	45
Tabela 11	Resultados dos principais parâmetros determinados nas amostras de águas, coletadas em fontes localizadas no Estado da Paraíba.....	60
Tabela 12	Resultados dos principais parâmetros determinados nas amostras de águas, coletadas em fontes localizadas no Estado da Paraíba.....	61
Tabela 13	Equações empíricas, coeficiente de determinação e coeficiente de correlação entre condutividade elétrica (CE) e os principais sais constituintes das águas subterrâneas.....	69
Tabela 14	Matriz de Correlação dos parâmetros físico-químicos analisados.....	70
Tabela 15	Matriz de Correlação dos parâmetros físico-químicos analisados.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Classes das águas.....	54
Quadro 2	Classificação das águas segundo a sodicidade e salinidade.....	58
Quadro 3	Análise das amostras de água pelo Qualigraf.....	58
Quadro 4	Classificação segundo a USSL pelo software Qualigraf.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Tipos de aquíferos de acordo com as rochas armazenadoras de águas. Fonte: Instituto Geológico de São Paulo (2008).....	23
Figura 2	Localização da área em estudo. Fonte: (SOUSA, 2007).....	43
Figura 3	Características predominantes de tipos de solos existentes na região do município de Boa Vista - PB. Fonte: EMBRAPA (2016).....	46
Figura 4	Características de Capacidade de uso do solo para região do município de Boa Vista - PB. Fonte: AESA (2016).....	47
Figura 5	Pontos georreferenciados e usados no Google Earth, 2016.....	48
Figura 6	Coleta das amostras de água direto do tubo.....	49
Figura 7	Coleta das amostras de água em reservatório fechado.....	49
Figura 8	Águas analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG.....	49
Figura 9	Locais de coleta das amostras de água, Cata-vento (A), Bomba Elétrica (B) e Compressor (C).....	50
Figura 10	Diagrama da USDA para as amostra de águas coletadas. Boa Vista, 2015.....	52
Figura 11	Diagrama de DUROV.....	53
Figura 12	Diagrama de Piper.....	55
Figura 13	Diagrama de Schöller e Berkloff para potabilidade das águas subterrâneas...	56
Figura 14	Classificação quanto aos sólidos totais dissolvidos.....	57
Figura 15	Condutividade elétrica da água da região de Boa Vista - PB.....	62
Figura 16	Água para banho de porcos.....	63
Figura 17	Coleta de amostra de água em um reservatório aberto.....	63
Figura 18	Correlação entre valores de pH x condutividade elétrica da água.....	64
Figura 19	Correlação entre os valores de cálcio x condutividade elétrica da água.....	64
Figura 20	Correlação dos valores de magnésio x condutividade elétrica da água.....	65
Figura 21	Correlação dos valores de sódio x condutividade elétrica da água.....	66
Figura 22	Correlação dos valores de potássio x condutividade elétrica da água.....	66
Figura 23	Correlação dos valores de carbonato x condutividade elétrica da água.....	67
Figura 24	Correlação dos valores de bicarbonato x condutividade elétrica da água.....	67

Figura 25	Relação do cloreto com a condutividade elétrica da água.....	68
Figura 26	Relação do sulfato com a condutividade elétrica da água.....	69
Figura 27	Corrosão na torre do cata-vento.....	74
Figura 28	Tombamento do cata-vento ao fundo, pela corrosão.....	74
Figura 29	Água extravasando da caixa d'água.....	75
Figura 30	Água sendo desperdiçada do bebedouro animal.....	75
Figura 31	Condutividade elétrica da água para animais.....	83
Figura 32	Galpões de criação de frango.....	84
Figura 33	Galpões de criação de codornas.....	84
Figura 34	Caprino bebendo água de alta salinidade.....	85
Figura 35	Teor de magnésio na água para animais.....	88
Figura 36	Análise da condutividade elétrica da água para irrigação segundo Richard.....	94
Figura 37	Plantação de palma irrigada com água subterrânea.....	95
Figura 38	Plantação de capim irrigada com água de poços tubulares.....	95
Figura 39	Classificação das águas de irrigação Segundo a UCCC.....	96
Figura 40	Valores de pH da água de irrigação.....	97
Figura 41	Valores para o risco de sódio na água de irrigação por superfície.....	98
Figura 42	Valores para o risco de cloreto na água de irrigação por superfície.....	98
Figura 43	Risco de cloreto na água de irrigação por superfície.....	99
Figura 44	Risco de cloreto na água de irrigação por aspersão.....	100
Figura 45	Valores para o risco de bicarbonato na água de irrigação por aspersão.....	101

SIMBOLOS E ABREVIACÕES

AESA- Agência executiva de gestão das águas
ANA – Agência Nacional de Águas
CDRM-Companhia de Desenvolvimento dos Recursos Minerais
CEa – Condutividade elétrica da Água
CNRH- conselho nacional de recursos hídricos
CONAMA- conselho nacional de meio ambiente
CPRM – Serviço Geológico do Brasil
CSR- carbonato de sódio residual
dS-deciSiemens
IBGE- instituto brasileiro de geografia e estatística
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*
GPS- sistema de posicionamento global
Mg- miligramas
Meq- miliequivalentes
mm- milímetro
MMA – Ministério do Meio Ambiente
OMS – Organização Mundial de Saúde
ONU – Organização das Nações Unidas
PB- Paraíba
pH - Potencial hidrogeniônico
pHe - Potencial hidrogeniônico em equilíbrio
PNRH- Programa nacional de recursos hídricos
Ppm- Partes por milhão
RAS – Razão de adsorção de sódio
RSI- índice de estabilidade de Ryzanr
LSI- índice de saturação de Langelier
STD – Sólidos totais dissolvidos
SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UCCC- University of California Committee of Consultants
UFMG- Universidade federal de campina grande
UNESCO- Organização para a Educação, a Ciência e a Cultura das Nações Unidas
UNIAGUA- Universidade da água
USDA- Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
USSL – United States Salinity Laboratory
VMP – Valor Máximo Permitido
WHO – *World Health Organization*

RESUMO

AVALIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL DOS TEORES DE SAIS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO MUNICÍPIO DE BOA VISTA-PB

O objetivo da pesquisa foi avaliar espacial e temporal, a salinidade das águas subterrâneas do município de Boa Vista-PB. O estudo teve, como campo de investigação o município de Boa Vista - PB, totalizando uma área de 446,30 km² localizada nas coordenadas 7° 10' 11,5" e 7°22'1,6" de latitude Sul e 36° 04' 19" e 36° 19' 17" de longitude Oeste. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSh, que significa semiárido quente, com precipitação média de 416 mm/ano. A pesquisa teve início em outubro de 2014 estendendo-se até agosto de 2015, ocorrendo coleta sistemática de amostras de água obedecendo a duas etapas, para se obter a média dos teores de sais dos poços tubulares pesquisados; em referência à primeira etapa, foram coletadas 86 amostras das fontes, em todo o município, realizando-se um diagnóstico da qualidade da água subterrânea; na segunda etapa foram coletadas 76 amostras de água, houve uma redução visto alguns poços secaram e outros estavam quebrados; enfim os 76 poços foram georreferenciados. Os pontos foram georreferenciados usando-se um GPS 12 XL e fotografados com máquina digital. A coleta foi realizada no ponto em que o fluxo de água deságua, evitando ao máximo reservatórios contaminados (bebedouro), obtidos diretamente do bombeamento. Foram analisados, no Laboratório de Irrigação e Salinidade (UFMG) os conteúdos de sais expressos pela leitura da condutividade elétrica da água (CEa), determinando os sais 4 cátions e 3 ânions, potencial hidrogeniônico (pH) e obtenção da relação de adsorção de sódio (RAS); para os demais parâmetros foram utilizadas fórmulas para obter a alcalinidade, os sais dissolvidos totais (STD), CSR, ISL, RSI e a dureza das águas do município de Boa Vista, PB. As águas da região de Boa Vista-PB foram caracterizadas, em sua maioria, como sódicas cloretadas. A maioria dos valores de pH se encontra nos valores normais, para consumo humano, animal e irrigação. Para os valores de alcalinidade e dureza, foram aceitas em mais de 50% das amostras. A condutividade elétrica da região é bastante alta, imprópria para seus múltiplos usos; nas duas coletas os valores de cloreto ficaram bem acima do recomendado para consumo humano, animal e irrigação. De acordo com os sólidos dissolvidos totais, a água é considerada salina. Segundo Richards (1954) são águas C4 com salinidade muito alta. Essas águas somente devem ser usadas para culturas tolerantes aos sais. De acordo com o carbonato de sódio residual, a qualidade da água é adequada para a prática da irrigação. Foram classificadas com incrustação moderada e corrosão forte na primeira coleta de dados e na segunda como balanceada e corrosão forte. Tendo como recomendação técnica a construção de cisternas para a diluição dessas águas com alta condutividade que serão ofertadas aos animais, a irrigação com águas salinas deve ser feita para culturas tolerantes e a implantação de tanques para a criação de tilápia e camarão.

Palavras-chave: qualidade de água, classificação, salinidade.

ABSTRACT

SPATIAL AND TEMPORAL EVALUATION OF SALT CONTENT IN UNDERGROUND WATERS IN THE MUNICIPALITY OF BOA VISTA-PB

The objective of the research was to evaluate, spatially and temporal, the salinity of the underground waters of the municipality of Boa Vista-PB. The study had as a field of investigation the municipality of Boa Vista - PB, totaling an area of 446.30 km² located in the coordinates 7°10'11,5 "and 7°22'1,6" south latitude and 36°04'19" and 36°19'17" west longitude. The climate of the region, according to the classification of Köppen, is BSh type, which means hot semiarid, with average precipitation of 416 mm/year. The research began on October 2014, extending until August 2015, with the systematic collection of water samples to obtain the mean of the salt contents of the tubular wells surveyed. For this, two steps were obeyed. The first stage, 86 samples were collected from the sources, throughout the city, carried out an assessment of the underground water quality. The second stage was collected 76 water samples, occurring reductions, since some wells were dried and others were broken, finally the 76 wells were georeferenced. The points were georeferenced using a GPS 12 XL and photographed with a digital camera. The collection was performed at the point where the flow of water flows, avoiding to the maximum contaminated reservoirs (drinker), obtained directly from the pumping. The contents of salts were analyzed in the Irrigation and Salinity Laboratory (UFCG) by reading the electrical conductivity of the water (CEa), determining the salts - 4 cations and 3 anions, hydrogenation potential (pH) and obtaining the sodium adsorption ratio RAS). For the other parameters, formulas were used to obtain the alkalinity, the total dissolved salts (STD), CSR, ISL, RSI and the hardness of the waters of the municipality of Boa Vista, PB. The waters of the region of Boa Vista-PB were characterized, for the most part, as chlorinated sodas. Most of the pH values are in normal values, for human consumption, animal and irrigation. For alkalinity and hardness values, they were accepted in more than 50% of the samples. The electrical conductivity of the region is quite high, unfit for its multiple uses; in both collections the values of chloride were well above the recommended for human consumption, animal and irrigation. According to the total dissolved solids, water is considered saline. According to Richards (1954) they are C4 waters with very high salinity. These waters should only be used for salt tolerant crops. According to residual sodium carbonate, the water quality is suitable for irrigation practice. They were classified with moderate inlay and strong corrosion in the first data collection and in the second as balanced and strong corrosion. Having as technical recommendation the construction of cisterns for the dilution of these waters with high conductivity that will be offered to the animals, the irrigation with saline waters should be made for tolerant crops and the implantation of tanks for the creation of tilapia and shrimp.

Keywords: water quality, classification, salinity.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, estimativas indicam a existência de pelo menos 400 mil poços. A água de poços e de fontes vem sendo utilizada intensamente para diversos fins, tais como abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer. Aproximadamente 15,6% dos domicílios utilizam exclusivamente água subterrânea. Embora o uso das águas subterrâneas seja complementar ao superficial em muitas regiões, em outras áreas do país ele representa a principal fonte de abastecimento (MMA/PNRH, 2006).

A CPRM (2000) estima em seu “Programa de Água Subterrânea para o Semiárido Brasileiro”, estima que em todo o Nordeste existam por volta de 150 mil poços tubulares, porém, de acordo com o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas – SIAGAS, foram cadastrados, até janeiro de 2008, cerca de 92.700 poços na região.

Aproximadamente 30 milhões de hectares do planeta são afetados por sais e de 0,25 a 0,5 milhões de hectares de área produtiva são perdidos a cada ano, em função da salinização do solo (FAO, 2002).

No semiárido nordestino animais consomem, em geral, águas de baixa qualidade, ao longo de vários meses do ano. Frequentemente, essas águas contêm altos níveis de sais que provocam desarranjos fisiológicos podendo levar à morte; o efeito mais comum é a falta de apetite que tem sua origem não apenas de um desequilíbrio no conteúdo de água nos tecidos mas também de uma toxicidade iônica, sendo o magnésio o elemento que provoca diarreia no gado (AYERS e WESTCOT, 1999). E sendo o município detentor da criação de bovinos e caprinos de leite, é a grande preocupação em observar tais teores de sais, nos poços tubulares.

Nas regiões árida e semiárida as águas subterrâneas são uma alternativa viável para atender a demanda dos animais, por períodos longos e quando há extrema escassez de água com pouca quantidade de sais as águas da região em sua maioria identifica-se salinidade elevada devido à falta de recarga dos mananciais superficiais nos últimos anos agravado pela grande seca que a região tem enfrentado.

As águas da região nordeste detêm grande quantidade de sais; logo, existe a relevância de conhecer a qualidade das águas e a proporção de sais nas fontes subterrâneas para serem melhores destinadas, seja para o uso doméstico, consumo de animais e quais desses animais ou irrigação.

Segundo a Companhia de Desenvolvimento dos Recursos Minerais da Paraíba (CDRM) no ano de 2011 o órgão perfurou e instalou 310 poços; em 2012 foram 195; no ano de 2013 foram 395

e atingindo o total de 685 poços em 2014 em toda a Paraíba. Mesmo no cristalino do semiárido nordestino brasileiro, onde a produtividade dos poços apresenta vazões muito baixas (comumente inferiores a 3 m³ /h) e a água possui elevada salinidade, em muitas comunidades pequenas esses poços constituem a única fonte de abastecimento disponível (PNRH, 2006).

A região de Boa Vista - PB está localizada no semiárido nordestino e teve um grande incentivo governamental, além de financiamento bancário e recursos próprios dos produtores na perfuração de poços nos últimos 05 anos (ano 2012- até agosto de 2016), decorrente de uma redução elevada nas precipitações anuais nesses anos (2012 -2014), desta forma e tentando atingir o propósito de manter as atividades de pecuária, entre elas, bovinos com 5800 cabeças, ovinos com 4600 cabeças, suínos com 500 cabeças, caprinos com 6800 cabeças, equinos com 180 cabeças, codornas com 1300 cabeças e galinhas com 19000 cabeças (IBGE, 2014), foram demandados muitos poços subterrâneos para a região, sem que se observasse a qualidade físico-química como meio de critério de perfuração, principalmente para as aves, que estão dentro do grupo de maior sensibilidade aos teores de sais.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar, espacial e temporal, a salinidade das águas subterrâneas do município de Boa Vista - PB.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar, hidroquimicamente, as águas do município;
- Correlacionar à condutividade elétrica da água com as variáveis de salinidade das águas subterrâneas;
- Determinar o risco de incrustação e de corrosão do material usado nos poços subterrâneos, em função dos sais existentes;
- Classificar as águas subterrâneas quanto à salinidade para fins de consumo humano, animal e de irrigação.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. QUALIDADE DE ÁGUA

No Brasil, as legislações vigentes que tratam de potabilidade da água para consumo humano e de águas subterrâneas são, respectivamente, a Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) e a Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2008).

A água doce é um recurso natural finito cuja qualidade vem piorando em virtude do aumento do consumo e mau uso da água por parte da população, além da ausência de políticas públicas voltadas para sua conservação. A água é o nutriente requerido em maior quantidade pelo ser humano, animais e parte vital de qualquer sistema biológico. A importância da qualidade da água está bem conceituada na Política Nacional dos Recursos Hídricos que define, entre seus objetivos, “assegurar, à atual e às futuras gerações, a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (Art. 2º, Cap. II, Tit. I, Lei nº 9.433).

A informação sobre a qualidade da água no país ainda é insuficiente ou inexistente, em várias bacias. Segundo o Ministério do Meio Ambiente, apenas nove unidades da Federação possuem sistemas de monitoramento da qualidade da água considerados ótimos ou muito bons; cinco possuem sistemas bons ou regulares e treze apresentam sistemas fracos ou incipientes; a Paraíba está entre estes (ANA, 2005).

Toda água superficial ou subterrânea contém certo teor de sais em solução mas em regiões áridas e semiáridas essa concentração é maior em razão dos períodos secos, visto que favorecem a evaporação da água e, em consequência os sais se concentram nas águas remanescentes dos reservatórios, favorecendo grandes problemas de salinização e sodificação do solo quando utilizadas para diversos usos de consumo. A orientação comum é definir a qualidade à água quanto ao teor de sais através de leituras para determinar a concentração e a composição desses sais (DAKER, 1970).

Vasconcelos et al. (2013), avaliaram os níveis de qualidade da água subterrânea de uma propriedade agrícola de produção de melão irrigado, situada na comunidade de Pau Branco, em Mossoró -RN. Onde foram coletadas amostras de água de 13 poços tubulares, perfurados em uma área localizada no domínio de calcário Jandaíra, realizadas durante o ano de 2012. As amostras de água coletadas foram submetidas a algumas análises físico-químicas de parâmetros de qualidade da água, destacando-se a condutividade elétrica; concentração de

nitrito e potencial hidrogeniônico. Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva, utilizando-se, da média (M), do desvio padrão (DP), e dos valores mínimos e máximos desses dados. Para avaliar a precisão experimental dos dados, foi utilizado o coeficiente de variação (CV). A partir da avaliação estatística, e de acordo com a classificação proposta por Ayers e Westcot (1999), constatou-se que os resultados no período avaliado, dos valores de salinidade das águas desses poços foram classificados, quanto ao grau de restrição para uso, como de ligeiro a moderado. Os resultados dos valores médios de pH apresentaram limites aceitáveis, dentro de uma faixa normal, para utilização da água na irrigação, na cultura do melão.

Manasses et al. (2009), avaliaram a classificação das amostras de água pelos íons principais, caracterizando a hidroquímica da água subterrânea, determinando o arranjo estrutural da unidade na área de estudo e classificando a água para o consumo humano. A área de estudo localiza-se na região sudoeste do Estado do Paraná, tem seus limites marcados pelo rio Iguazu a norte, Santa Catarina a sul, rio Chopin a leste e a Argentina a oeste. Foram usados dados de 57 análises físico-químicas com os parâmetros (HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , além de pH, condutividade elétrica, sílica dissolvida, dureza total, nitrito, ferro total, fluoreto, temperatura e sólidos dissolvidos totais (STD). As amostras de água foram classificadas por íons principais, segundo Schooller, pela dureza e segundo Piper. Assim, os resultados obtidos mostraram que águas bicarbonatadas cálcicas correspondem a principal classe de água, seguido de águas bicarbonatadas sódicas e bicarbonatadas mistas sendo que apenas uma amostra de água foi tida como sulfatada sódica. Os valores de pH variam de 6,69 a 9,95. Para os sólidos dissolvidos totais a média é de 147 mg.L^{-1} . A média para a condutividade é de $197,46 \mu\text{S.cm}^{-1}$.

Maia et al. (2012), obtiveram resultados avaliando a relação entre a concentração de bicarbonato e cloreto nas águas para fins de irrigação do Nordeste brasileiro. O banco de dados usado foi composto por 537 análises oriundas de 55 propriedades rurais, sendo 332 analisadas de água de poço, 69 de rio e 136 de açude. As determinações físico-químicas feitas nas amostras de águas e utilizadas nesse trabalho foram: pH, CE e as concentrações em mmolc L^{-1} de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} e SO_4^{2-} . Concluiu-se que a relação HCO_3/Cl diminui potencialmente com o aumento da condutividade elétrica da água de irrigação, com predomínio de cloreto sendo observado para condutividade elétrica maior que $0,60 \text{ dS m}^{-1}$, $0,52 \text{ dS m}^{-1}$ e $0,43 \text{ dS m}^{-1}$, para águas de poço, rio e açude, respectivamente. A relação HCO_3/Cl também diminui potencialmente em função das concentrações de cálcio,

magnésio e sódio da água de irrigação. Águas com HCO_3/Cl apresentam maior risco de alcalinização do solo.

Lima et al. (2013), avaliaram durante doze meses, o comportamento da Condutividade Elétrica (CE) e da concentração do íon cloreto (Cl^-) nas águas de dez poços localizados no município de Crateús (dois na zona urbana e oito na zona rural), avaliando a sua influência na qualidade dessas águas. Os resultados mostraram que as águas dos poços das comunidades rurais de Assis, Cabaças, Curral Velho, Ibiapaba e Santa Clara, e do bairro São José, podem ser classificadas como de qualidade suficientemente adequada para atender o consumo humano, podendo ser usadas na irrigação de muitas culturas. Já as águas dos poços localizados nas comunidades rurais de Cajás do Jorge, Lagoa das Pedras e Poti, e do bairro Planalto, não podem ser aproveitadas para consumo humano, sendo que seu uso na agricultura apresenta severas restrições.

Oliveira et al. (2013), avaliaram a qualidade das águas de poços de assentamentos da Chapada do Apodi, localizados no estado do Rio Grande do Norte, classificando-as quanto ao seu uso na irrigação. Foram coletadas amostra de poços de 11 assentamentos para análises físico-químicas visando à classificação quanto aos critérios de qualidade de água segundo o UCCC e Richard. Observou-se que todos os poços apresentaram alguma restrição para o uso na irrigação sendo o poço 3 o que apresentou maior risco de salinidade e sodicidade do solo. Os poços 1, 8, 14 e 17 apresentaram um menor grau de restrição de acordo com o UCCC, enquanto que os poços 16, 18 e 19 apresentaram o menor risco de salinidade e sodicidade pela metodologia de Richards.

Souza et al. (2014), avaliaram as águas subterrâneas do sistema nas Sub-bacias do rio Verde Grande e dos rios Jequitáí e Pacuí, com ênfase na qualidade destas águas. Observando que o valor do gradiente hidráulico médio foi de 0,34 e a condutividade elétrica (CE) variou entre 10 e 8.774 $\mu\text{S}/\text{cm}$, havendo predominância de águas com CE inferior a 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. As águas apresentaram, em sua maioria, caráter neutro a levemente alcalino, sendo muito duras. A relação entre os principais íons foi $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ e as concentrações de Cloreto aumentaram no decorrer do fluxo subterrâneo. As águas subterrâneas na região estudada foram inadequadas para fins de consumo humano em 82% dos poços monitorados.

Oliveira et al. (2015), avaliaram as águas subterrâneas do Aquífero Parecis (AP) representam a única fonte explorada para o abastecimento público de água potável do município de Vilhena - RO. Nesse sentido, a avaliação da qualidade da água determinada por

análises físicas, químicas e microbiológicas, podem fornecer subsídios para a compreensão das condições da água consumida. No presente estudo, foram realizadas duas coletas de água subterrânea em 12 poços distribuídos na cidade: a primeira no período de estiagem (seca), em agosto de 2013; e a outra no período chuvoso, em dezembro de 2013. Os foram analisados 12 parâmetros. Os resultados apresentaram valores abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/2008 e Portaria do MS 2.914/2011 para a turbidez e praticamente todos os constituintes iônicos, com exceção do nitrato (6 poços) e de amônia (1 poço), além de um pH ácido. Em função dos resultados, destaca-se a importância do monitoramento constante da qualidade da água nas comunidades usuárias de fontes alternativas, evitando problemas à saúde humana.

Oliveira et al. (2010) avaliaram no estado de Goiás o Sistema Aquífero Guarani quanto a distribuição dos parâmetros físico-químicos das águas do SAG em sua área de ocorrência no estado de Goiás, Brasil. O pH das águas amostradas variaram de 4,6 a 8,86. Os valores de Condutividade elétrica variaram entre 12,50 a 11.990 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e os de Sólidos Totais Dissolvidos entre e 6,54 a 5.940 mg L^{-1} . De modo geral, há uma diminuição dos valores entre as águas das zonas de afloramento, onde o aquífero é livre em direção às zonas confinadas.

3.2. ÁGUA SUBTERRÂNEA

De acordo com a Resolução CONAMA nº 396/2008, um aquífero é um corpo hidrogeológico com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos.

As águas subterrâneas são aquelas que se encontram sob a superfície da Terra, preenchendo os espaços vazios entre os grãos do solo, rochas e fissuras (rachaduras, quebras, descontinuidades e espaços vazios) (MMA, 2007).

As águas subterrâneas são fontes de água doce utilizada para consumo humano, irrigação, e usos domésticos em muitas regiões do mundo (BALACHANDAR et al., 2010).

A água subterrânea é considerada potável quando se realiza análises físico-químicas, e verifica-se que ela está dentro dos padrões de potabilidade para consumo humano estabelecidos nas normas vigentes no País (CELLIGOI, 1999).

No Brasil a disponibilidade hídrica subterrânea explorável é da ordem de 4.000 m^3/s , alimentando a existência de mais de 400 mil poços que suprem diversas finalidades como

abastecimento público, irrigação, indústria e lazer. Mais de 15% dos domicílios brasileiros utilizam exclusivamente água subterrânea para seu suprimento, permitindo o atendimento de comunidades pobres ou distantes das redes de abastecimento público em geral, sendo estratégica para as comunidades rurais do semiárido nordestino (ANA, 2007).

No cenário mundial onde a demanda por água doce cresce continuamente ao ritmo do crescimento populacional, a água subterrânea assume papel importante no fornecimento de água doce de qualidade para o abastecimento humano, industrial e de irrigação. No mundo, o ritmo de uso dos recursos subterrâneos aumentou em pelo menos três vezes ao longo dos últimos cinquenta anos, e continua a aumentar de 1,0 a 2,0% ao ano. As estimativas sugerem que a captação de águas subterrâneas é responsável por 26,0% da retirada total de água no mundo (UNESCO, 2012).

A avaliação da qualidade da água com fins de potabilidade para consumo humano tornou-se uma importante alternativa para o melhor uso das águas subterrâneas e com isso proporcionar a permanência do homem no campo, evitando o êxodo rural. No município de Boa Vista, localizado em região da Paraíba com regime de chuvas abaixo de 500 mm por ano, possui uma grande demanda de perfurações, ora sendo abandonados por não atingir nem a tolerância para animais, ora é capaz de ser usado como fonte de venda para consumo humano, devido à restrição de chuvas nos últimos 04 anos que assola a região. Diante da importância do uso da água subterrânea em propriedades rurais, foi realizada uma avaliação da qualidade da água subterrânea utilizada para esses fins no município de Boa Vista, do Estado da Paraíba, usando-se como base, a Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde; para tanto alguns parâmetros foram analisados como percepção de ter ou não ter potencial de uso para este fim.

3.3. AQUÍFERO

Segundo Feitosa e Manoel Filho (1997), os aquíferos são reservatórios subterrâneos de água, caracterizados por camadas ou formações geológicas suficientemente permeáveis, capazes de armazenar e transmitir água em grande quantidade.

Os aquíferos podem ser classificados também de acordo com a porosidade das rochas armazenadoras. Como:

Granulares: aquíferos superficiais, que ocorrem em sedimentos clássicos não consolidados, tais como em depósitos aluviais de rios, que consistem fundamentalmente de areia e argila;

Fissurais: águas subterrâneas que ocorrem nas fraturas das rochas resultantes dos processos tectônicos;

Cársticos: formados por rochas carbonáticas que, no processo geológico, produzem fraturas e fissuras por conta da dissolução cárstica; esses procedimentos podem ser melhores representados na Figura 1.

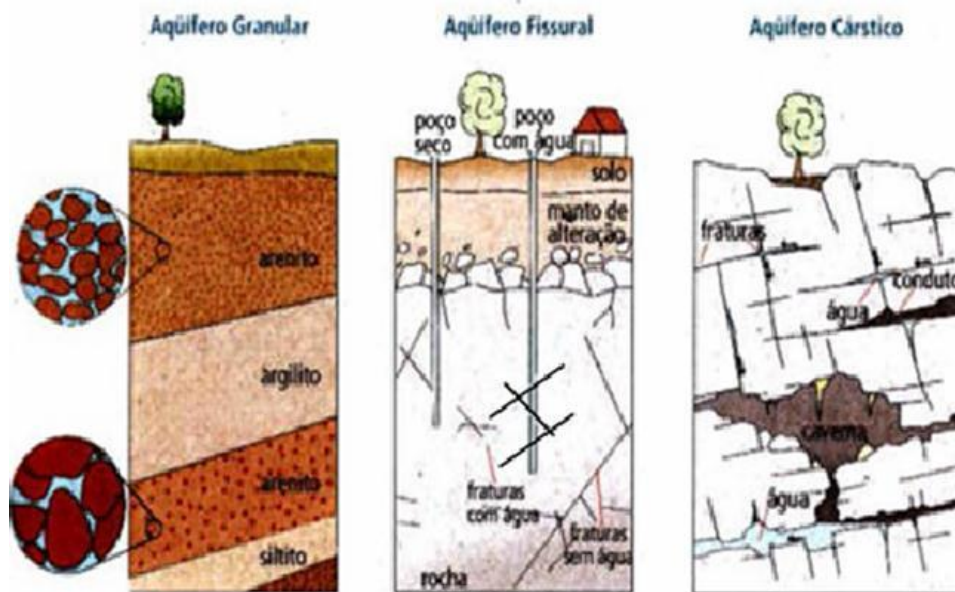


Figura 1. Tipos de aquíferos de acordo com as rochas armazenadoras de águas.
Fonte: Instituto Geológico de São Paulo (2008).

Existem dois grupos de fontes hidrominerais, que Feitosa e Manoel Filho (1997), os classificam como:

Fontes de surgências naturais ou de afloramentos: são aquelas cujas águas subterrâneas, por motivos geológicos, surgem espontaneamente no terreno, produzindo escoamento superficial, a partir do qual são captadas;

Fontes de captação artificial: são fontes de água decorrentes da perfuração de poços tubulares e cacimbões com profundidades variáveis.

3.4. PROVÍNCIAS HIDROGEOLÓGICAS DO NORDESTE DO BRASIL

O Nordeste do Brasil, segundo a CPRM (2001), por conta das características geológicas e hidrogeológicas semelhantes das águas subterrâneas é dividido em quatro províncias:

Província do Escudo Oriental Nordeste é constituída predominantemente de rochas cristalinas e, em geral, apresenta um potencial hidrogeológico muito fraco; esta deficiência está relacionada diretamente com as condições de ocorrência e circulação das águas subterrâneas, que é agravada em função das características do clima semiárido, que provoca taxas elevadas de salinidade nas águas. Dentro deste universo de rochas cristalinas ocorrem pequenas ilhas de rochas sedimentares, denominadas bacias interiores. Tendo em vista as condições favoráveis de ocorrência de água subterrânea, essas pequenas bacias se tornam imensas em importância considerando-se o aspecto recursos hídricos;

Província do São Francisco: predominam aquíferos restritos às zonas fraturadas, com potencialidade de baixa a média;

Província do Parnaíba é representada pela bacia sedimentar do Parnaíba e constitui o maior potencial de água subterrânea do Nordeste;

Província Costeira corresponde à extensa faixa litorânea do país, estendendo-se desde o Amapá até o Rio Grande do Sul, sendo formada por nove subprovíncias, das quais sete ocorrem na região Nordeste.

3.5. ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO

As águas doces até a Classe 3, podem ser utilizadas para abastecimento humano (potável) após o tratamento adequado; uma vez realizado este tratamento, elas devem estar de acordo com os parâmetros da Portaria nº 2914 de 12 de Dezembro de 2011 do Ministério da Saúde (Tabela 1), a qual estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água e seu padrão de potabilidade destinada ao consumo humano.

Na Tabela 1 são apresentados os níveis toleráveis para cada parâmetro de potabilidade de água, segundo a Portaria nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011, do Ministério da Saúde e a Organização Mundial de Saúde (1999) (Figura 2) que define, como água potável, aquela que apresenta aspecto límpido e transparente; não apresenta cheiro ou gosto desagradável; não contém nenhum tipo de microrganismo que possa causar doença nem nenhuma substância em concentrações que possam favorecer qualquer tipo de prejuízo à saúde.

Tabela 1. Padrão da água para consumo humano, segundo a Portaria nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011, do Ministério da Saúde

Parâmetro	Unidade	VMP (1)
Alumínio	mg L ⁻¹	0,2
Amônia (como NH ₃)	mg L ⁻¹	1,5
Cloreto	mg L ⁻¹	250
Cor Aparente	Uh ⁽²⁾	15
Dureza	mg L ⁻¹	500
Etilbenzeno	mg L ⁻¹	0,2
Ferro	mg L ⁻¹	0,3
Manganês	mg L ⁻¹	0,1
Monoclorobenzeno	mg L ⁻¹	0,12
Odor	Intensidade	6
Gosto	Intensidade	6
Sódio	mg L ⁻¹	200
Sólidos dissolvidos totais	mg L ⁻¹	1.000
Sulfato	mg L ⁻¹	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg L ⁻¹	0,1
Surfactantes	mg L ⁻¹	0,5
Tolueno	mg L ⁻¹	0,17
Turbidez	UT ⁽⁴⁾	5
Zinco	mg L ⁻¹	5
Xileno	mg L ⁻¹	0,3
pH	Faixa de 6,0 a 9,5	

⁽¹⁾ Valor Máximo Permitido; ⁽²⁾ Unidade Hazen (mg Pt·CO/L); ⁽⁴⁾ Unidade de Turbidez

Tabela 2. Limites máximos dos parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da água para consumo humano

Parâmetro	Unidade	Valores máximos permitidos (VMP)
pH	-	6,0-9,5
Cloretos	mg L ⁻¹	250
Cálcio	mg L ⁻¹	200
Magnésio	mg L ⁻¹	150
Sódio	mg L ⁻¹	200
Potássio	mg L ⁻¹	20
Dureza total	mg L ⁻¹	500
Alcalinidade total	mg L ⁻¹	400
Sólidos Totais Dissolvidos (STD)	mg L ⁻¹	1.000

Fonte: BRASIL (2005), BRASIL (2011); OMS (1999).

3.6. ÁGUA PARA CONSUMO ANIMAL

Para consumo animal, citado por Ayers e Westcot (1999), a Academia Nacional de Ciências dos EUA classifica a água recomendando parâmetros de salinidade entre 1,5 e 16 (dS.m⁻¹), conforme a Tabela 3.

Segundo Ayers e Westcot (1999), com exceção do magnésio, os íons responsáveis pela salinidade não são, em sua maioria, muito tóxicos. Assim, as normas Australianas, recomendam que se deva considerar o Mg, sobretudo quando a salinidade excede 6600 uS m⁻¹ (4.000 mg L⁻¹) nas águas para o gado bovino e 10000 uS m⁻¹ (6.000 mg L⁻¹) nas águas para ovinos. Na Tabela 4 são apresentados os níveis toleráveis de magnésio Australian Water Resources Council (1969) citado por Ayers e Westcot (1999).

Tabela 3. Classificação das águas para consumo animal (bovinos e aves).

Salinidade (dS m ⁻¹)	Classe	Observações
< 1,5	Excelente	Adequada para todas as classes
1,5 – 5,0	Muito satisfatória	Provoca diarreia em gado não acostumado e excrementos aquosos nas aves
5,0 – 8,0	Satisfatória para o gado; Não satisfatória para as aves	Pode produzir diarreia temporária ou não ter aceitabilidade por animais não acostumados Aumento de mortalidade e redução de crescimento, sobretudo em perus
8,0 – 11,0	De uso limitado para o gado; Não apta para as aves	Evitar para fêmeas prenhas e em lactação Não é adequada para as aves domésticas
11,0 - 16,0	De uso limitado	Grande risco para vacas lactantes ou prenhas. Animais mais velhos podem subsistir em certas condições
>16,0	Não recomendável	Riscos muito grandes.

Fonte: National Academy of Science (1972, 1974), Apud Ayers e Westcot (1999), adaptada.

Na Tabela 4 são apresentados os níveis toleráveis de magnésio segundo a Australian Water Resources Council (1969) citado por Ayers e Westcot (1999).

Tabela 4. Níveis sugeridos de magnésio nas águas de consumo animal (bovinos e aves¹).

Aves e Gados	Concentração de Magnésio	
	mg L ⁻¹	meq L ⁻¹
Aves Confinadas ²	< 250	< 21
Suínos ²	< 250	< 21
Equinos	< 250	< 21
Vacas lactentes	< 250	< 21
Ovelhas e cordeiros	< 250	< 21
Bovinos de corte	< 400	< 33
Ovinos adultos alimentados com feno	< 500	< 41

¹Fonte: Australian Water Resources Council (1969), citado por AYERS e WESTCOT (1999).

²A tolerância das aves e suínos ao Mg é desconhecida; estima-se que seja inferior a 250 mg L⁻¹.

Tabela 5. Teores máximos aceitáveis de cloreto para diversas espécies/categorias animais.

Espécie/categoria animal	Teor aceitável de cloretos (mg L ⁻¹ de Cl)
Bovinos de leite	1600
Bovinos de carne	4000
Ovelhas e borregos	2400
Ovinos adultos	5600
Equídeos (cavalos)	1200

Teores máximos de cloreto para algumas espécies/categorias animais (Adaptado de “Water for livestock: interpreting water quality tests”)

A Tabela 6 exemplifica como padrões de qualidade de água exigidos para a dessedentação de aves, na qual se verifica que alguns parâmetros requeridos para as aves são muito semelhantes aos padrões humanos, em alguns casos os níveis para as aves são mais restritivos.

Tabela 6. Padrões de qualidade da água para dessedentação de aves

Elementos ou contaminantes	Nível médio considerado (mg L⁻¹)	Nível máximo aceitável (mg L⁻¹)
Total de bactérias	0	100
Coliformes totais	0	50
Nitratos	10	25
Nitritos	0,4	4
pH	6,8 - 7,5	-
Dureza	60 - 180	-
Cálcio	60	-
Cloreto	14	250
Cobre	0,002	0,06
Ferro	0,2	0,3
Chumbo	-	0,02
Magnésio	14	125 ¹
Sódio	32	-
Sulfato	125	250
Zinco		1,5

Fonte: Scheideler e Pendleton (1995)

3.7. ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

As águas foram classificadas quanto ao aspecto da irrigação e de acordo com as normas da University of Califórnia Committee of Consultants (UCCC) (1974) apud Ayers e Westcot (1999), Tabela 7, em que se consideram os valores da Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e Condutividade Elétrica (CEa); além dessas normas utilizou-se, também, a classificação proposta por Richard (1954), que utiliza a CEa para determinar a qualidade da água para irrigação.

Tabela 7. Parâmetros de interpretação da qualidade da água para irrigação, conforme a UCCC

Problema Potencial			Grau de Restrição de Uso				
Valores			Nenhum	Baixo a moderado			Severo
Unidade	Normais						
Salinidade							
CEa ²	dS m ⁻¹		< 0,7	0,7	-	3	> 3,0
SDT ³	mg L ⁻¹		< 450	450	-	2000	> 2000
Infiltração	RAS ⁴					CEa	
0	-	3	> 0,7	0,7	-	0,2	< 0,2
3	-	6	> 1,2	1,2	-	0,3	< 0,2
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	-	2,9	< 2,9
Toxicidade de íon específico							
Sódio (NA)⁵							
Irrigação superficial	RAS		< 3	3	-	9	> 9
Irrigação por aspersão	meq L ⁻¹		< 3			> 3	
Cloreto (Cl)⁵							
Irrigação superficial	meq L ⁻¹		< 4	4	-	10	> 10
Irrigação por aspersão	meq L ⁻¹		< 3			> 3	
Cálcio	meq L ⁻¹	0 – 20					
Magnésio	meq L ⁻¹	0 – 5					
Carbonatos	meq L ⁻¹	0 – 0,1					
Sulfatos	meq L ⁻¹	0 – 20					
Outros íons que afetam culturas sensíveis							
Nitrogênio (N – NO ³) ⁶	mg L ⁻¹		< 5,0	5	-	30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃) (para aspersão convencional)	meq L ⁻¹		< 1,5	1,5	-	8,5	> 8,5
pH			Faixa normal: 6,5 – 8,4				

Fonte: Adaptada da University of California Committee of Consultants (1974) Ayers e Westcot (1999).

NOTAS:

² CE_a = Condutividade elétrica da água, em dS m⁻¹ a 25°C.

³ SDT = Sólidos Totais Dissolvidos (mg L⁻¹).

⁴ RAS = Relação de Adsorção de Sódio algumas vezes representada como R_{na}. Para determinado valor de RAS, a velocidade de infiltração aumenta à medida que aumenta a salinidade. Avalia-se o problema potencial de infiltração através da RAS e da CE_a.

⁵ A maioria das culturas arbóreas e plantas lenhosas é sensível ao sódio e ao cloreto; no caso de irrigação por superfície, usam-se os valores indicados.

⁶ Significa nitrogênio em forma de nitrato expresso em termos de nitrogênio elementar.

Tabela 8. Resultado das análises de laboratório, necessários para a análise da qualidade da água para irrigação

Parâmetros	Símbolo	Unidade	Valores normais em água de irrigação
Salinidade			
Conteúdo de sais			
Condutividade elétrica	CEa	dS m ⁻¹	0 - 3
Sais dissolvidos totais	SDT	mg L ⁻¹	0 - 2000
Cátions e ânions			
Cálcio	Ca ⁺⁺	meq L ⁻¹	0 - 20
Magnésio	Mg ⁺⁺	meq L ⁻¹	0 - 5
Sódio	Na ⁺	meq L ⁻¹	0 - 40
Carbonatos	CO	meq L ⁻¹	0 - 0,1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq L ⁻¹	0 - 10
Cloreto	Cl ⁻	meq L ⁻¹	0 - 30
Sulfato	SO ₄	meq L ⁻¹	0 - 20
Nutrientes			
Nitrato-Nitrogênio	NO	mg L ⁻¹	
Amônio-Nitrogênio	NH	mg L ⁻¹	0 - 10
Fosfato-Fósforo	PO	mg L ⁻¹	0 - 5
Potássio	K ⁺	mg L ⁻¹	0 - 2
Vários			0 - 2
Boro	B	mg L ⁻¹	
Acidez ou alcalinidade	pH		0 - 2
Relação de adsorção de sódio	RAS	(mmol/L) ^{1/2}	6 - 8,5

¹dS m⁻¹ = deciSiemens/metro em unidades SI (1 mmho/cm = 1 dS m⁻¹)

mg L⁻¹ = miligramas/Litro=partes por milhão (ppm)

meq L⁻¹ = miliequivalentes/Litro (meq L⁻¹ = mg L⁻¹: peso equivalente). Em unidade SI, 1 meq L⁻¹ = milimol/Litro corrigido segundo a carga eletrônica

² NO-N significa que o laboratório deverá determinar NO e expressá-lo em termos de equivalente químico de N. Da mesma forma, NH - N o laboratório determinará o NH mas o expressará, em termos de equivalentes químicos de N elementar. O nitrogênio total disponível para as plantas será a soma de equivalentes de nitrogênio. O mesmo método deverá ser utilizado para se expressar o fósforo.

³RAS é calculada a partir de Na, Ca e Mg em meq L⁻¹

3.8. CLASSIFICAÇÕES DAS ÁGUAS

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA dispõe na Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005, sobre a classificação dos corpos aquáticos e diretrizes para seu uso. As

águas do Território Nacional são classificadas nas categorias doces, com salinidade igual ou menor que 0,5%; salobras, as de salinidade entre 0,5 e 30% e salinas, as águas com salinidade acima de 30% também divididas, conforme o objetivo de uso, em treze classes de qualidade. Para as águas doces classes especial, 1, 2, 3 e 4; para as águas salobras classes especial, 1, 2, e 3, e, para as águas salinas, em classes especial, 1, 2 e 3 (UNIAGUA, 2005).

O CONAMA, em sua Resolução nº 357 de 2005, classifica os recursos hídricos, segundo seus usos preponderantes, em nove classes:

1. As águas doces são classificadas em:

I - Classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - Classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme a Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas, sem remoção de película;
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - Classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - Classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário;
- e) à dessedentação de animais.

V - Classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação;
- b) à harmonia paisagística.

2. As águas salinas são assim classificadas:

I - Classe especial: águas destinadas:

- a) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - Classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à aquicultura e à atividade de pesca.

III - Classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) à pesca amadora;
- b) à recreação de contato secundário.

IV - Classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação;
- b) à harmonia paisagística.

3. As águas salobras são assim classificadas:

I - Classe especial: águas destinadas:

- a) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral;

b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - Classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) à recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à aquicultura e à atividade de pesca;
- d) ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado;
- e) à irrigação de hortaliças consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rente ao solo e sejam ingeridas cruas, sem remoção de película e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

III - Classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) à pesca amadora;
- b) à recreação de contato secundário.

IV - Classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação;
- b) à harmonia paisagística.

As águas doces até a Classe 3, podem ser utilizadas para abastecimento humano (potável) após o tratamento adequado; uma vez realizado este tratamento, ela deve atender à portaria 2914 do Ministério da Saúde que apresenta as normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano. Na Tabela 1 se encontram os principais parâmetros de potabilidade para cada elemento, conforme Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

Richards (1954) classificou a água para irrigação baseando-se na condutividade elétrica da água (CEa) como indicadora de risco para salinização e a razão de adsorção do sódio (RAS), como indicadora de risco de sodificação do solo, em quatro classes. Esta classificação de água é aceita em todo o mundo e recomendada pelo Laboratório de Salinidade do Solo dos Estados Unidos (BERNARDO, 2006).

Para salinidade, as águas são divididas em quatro classes, C1, C2, C3 e C4, medidas essas que aumentam com a concentração de sais. Tais denominações e os limites são apresentados por Richards (1954), com as seguintes interpretações:

C1 – água com salinidade baixa (Condutividade Elétrica entre 0 e 0,25 dS m⁻¹, a 25°C). Pode ser usada para irrigação da maioria das culturas e na maioria dos solos, com pouca probabilidade de ocasionar salinidade. Alguma lixiviação é necessária mas isto ocorre nas práticas normais de irrigação, à exceção dos solos com permeabilidade extremamente baixa;

C2 – água com salinidade média (Condutividade Elétrica entre 0,25 e 0,75 dS m⁻¹, a 25 °C). Pode ser usada sempre que houver um grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância aos sais podem ser cultivadas na maioria dos casos sem práticas especiais de controle da salinidade;

C3 – água com salinidade alta (Condutividade Elétrica entre 0,75 e 2,25 dS m⁻¹, a 25°C). Não pode ser usada em solos com deficiência de drenagem mas nos solos com drenagem adequada, podendo-se necessitar de práticas especiais para o controle da salinidade. Pode ser usada somente para irrigação de plantas com boa tolerância aos sais;

C4 – água com salinidade muito alta (Condutividade Elétrica entre 2,25 e 5 dS m⁻¹, a 25°C). Não é apropriada para irrigações sob condições normais mas pode ser usada ocasionalmente em circunstâncias bastante especiais. Os solos deverão ser muito permeáveis e com drenagem adequada, devendo ser aplicado excesso de água nas irrigações para se ter lixiviação. A água somente deve ser usada para culturas tolerantes aos sais.

Com respeito à Razão de Adsorção de Sódio (RAS), ela se baseia essencialmente no efeito do sódio trocável nas condições físicas do solo, causando problemas de infiltração pela redução de permeabilidade (MENDES, 2007). Richards (1954), dividiu as águas em quatro classes tomando por base valores limites da RAS, em função da CEa, com as seguintes interpretações:

S1 – Água com baixa concentração de sódio ($RAS \leq 18,87 - 4,44 \log CE$). Pode ser usada para irrigação em quase todos os solos, com pequena possibilidade de alcançar níveis perigosos de sódio trocável.

S2 – Água com concentração média de sódio ($18,87 - 4,44 \log CE < RAS < 31,31 - 6,66 \log CE$). Só pode ser usada em solos de textura grossa ou em solos orgânicos de boa permeabilidade. Sob condições restritas de lixiviação; ela apresenta perigo de sodificação considerável em solos de textura fina e com alta capacidade de troca catiônica (CTC).

S3 – Água com alta concentração de sódio ($31,31 - 6,66 \log CE < RAS < \text{ou} = 43,75 - 8,87 \log CE$). Pode produzir níveis críticos de sódio trocável na maioria dos solos fazendo-se necessárias práticas especiais de manejo do solo, boa drenagem, alta lixiviação e adição de matéria orgânica.

S4 – Água com concentração de sódio muito alta ($RAS > 43,75 - 8,87 \log CE$). Geralmente é imprópria para irrigação, podendo ser usada ocasionalmente em solos bem drenados ou com presença de gesso.

3.9. CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO A USSL

Dentre os critérios existentes para classificar a água para uso na irrigação, um dos mais aceitos e usados, o do United States Salinity Laboratory (USSL), de Riverside. Este método se baseia na razão de adsorção de sódio (SAR) e na condutividade elétrica (CE) da água. As categorias de água para irrigação, segundo o USSL são:

C0: - águas de salinidade fraquíssima, que podem ser utilizadas sem restrições para irrigação;

C1: - águas de salinidade fraca, CE, compreendida entre 100 e $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C (sólidos dissolvidos: 64 a 160 mg L^{-1}). Podem ser utilizadas para irrigar a maioria das culturas, na maioria dos solos, com pequeno risco de incidentes provenientes da salinização do solo, exceto se a permeabilidade do solo for extremamente fraca;

C2: - águas de salinidade média, CE, entre 250 e $750 \mu\text{mhos/cm}$ a 25°C (sólidos dissolvidos: 160 a 480 mg L^{-1}). Devem ser usadas com precaução, possíveis de ser utilizadas em solos silto-arenosos, siltosos ou areno-argilosos quando houver uma lixiviação moderada do solo. Os vegetais de fraca tolerância salina podem ser cultivados na maioria dos casos;

C3: - águas de alta salinidade, CE, entre 750 e $2250 \mu\text{mhos/cm}$ a 25°C (sólidos dissolvidos: 480 a 1440 mg L^{-1}). Só Podem ser utilizadas em solos bem drenados. Mesmo em solos bem cuidados, devem ser tomadas precauções especiais para evitar a salinização e apenas os vegetais de alta tolerância salina devem ser cultivados;

C4: - águas de salinidade muito alta, com CE entre 2250 e $5000 \mu\text{mhos/cm}$ a 25°C (sólidos dissolvidos: 1440 a 3200 mg L^{-1}). Geralmente não servem para irrigação podendo ser excepcionalmente utilizadas em solos arenosos permeáveis, bem cuidados e abundantemente

irrigados. Apenas os vegetais de altíssima tolerância salina podem ser cultivados nessas condições;

C5: - águas de salinidade extremamente alta, CE entre 5000 e 20000 $\mu\text{mhos/cm}$ a 25°C (sólidos dissolvidos: 3200 a 12800 mg L^{-1}). São águas utilizáveis apenas em solos excessivamente permeáveis e muito bem cuidados. A única exceção, o cultivo de palmeiras;

S1: águas fracamente sódicas. Podem ser utilizadas em quase todos os solos com fraco risco de formação de teores nocivos de sódio susceptível de troca. Se prestam ao cultivo de quase todos os vegetais;

S2: águas medianamente sódicas, apresentam perigo de sódio para solos de textura fina e forte capacidade de troca de cátions. Podem ser utilizadas nos solos de textura grosseira ou ricos em matéria orgânica, com boa permeabilidade;

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

S4: águas extremamente sódicas, geralmente imprestáveis para a irrigação, salvo se a salinidade global for fraca ou pelo menos média; podem ser aplicadas em solos altamente drenáveis ricos em carbonatos;

3.10. LEGISLAÇÃO

A Lei n° 9.433/97, que regulamentou o art. 21, XIX, da CF/88, instituindo a Lei da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelece as regras gerais 13 para gestão e proteção dos recursos hídricos, tanto superficiais como subterrâneos destacando-se, como instrumentos para efetividade desta Política, os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes; a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, aliados à gestão participativa da água com a criação dos Comitês de Bacia Hidrográfica.

Dentro da competência do CONAMA para a proteção das águas subterrâneas destacam-se as seguintes resoluções:

Resolução CONAMA n.º 02, de 22 de agosto de 1999, disciplina sobre as cargas deterioradas, contaminadas, fora de especificação ou abandonadas são tratadas como fontes potenciais de risco para o meio ambiente.

Resolução CONAMA n.º 273, de 29 de novembro de 2000, dispõe sobre a obrigatoriedade de prévio licenciamento do órgão ambiental competente para localização, construção, instalação, modificação, ampliação e operação de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis.

Resolução CONAMA n.º 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento e estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, classifica as águas doce a salobras. Estabelece padrões Classe 3 para dessedentação de animais e dá outras providências.

Resolução CONAMA n.º 396, de 03 de abril de 2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas; classifica as águas subterrâneas e, dentre outros, estipula padrões de qualidade para dessedentação de animais e dá outras providências.

Resolução CONAMA n.º 420, de 28 de dezembro de 2009, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias, em decorrência de atividades antrópicas.

3.11. INCRUSTAÇÃO E CORROSÃO

O comportamento agressivo ou incrustante das águas subterrâneas é verificado através da correlação entre o pH medido e o pHe, que é o pH de equilíbrio (LASTORIA, 2002; FEITOSA, 2008). Sua tendência corrosiva/incrustante determina se ocorrerão essas alterações no sistema de exploração e podem ser avaliadas pelo Índice de Saturação de Langelier (LSI - Langelier Saturation Index) e pelo Índice de Estabilidade de Ryznar (RSI - Ryznar Stability Index).

Apesar da determinação do LSI e RSI em águas subterrâneas ser pouco empregada, muito provavelmente pelo fato de não indicar a potabilidade dessas águas para o consumo humano, esses índices podem nortear os executores dos poços tubulares quanto aos tipos de materiais e equipamentos que devem ser utilizados nessas obras, bem quanto à frequência e ao período de manutenção, visando ao aumento da sua vida-útil. No caso de águas incrustantes

pode-se ocorrer redução de sua vazão de exploração; em poços com águas corrosivas, tem-se constatado o rompimento do tubo edutor e queda do conjunto motobomba, podendo causar a perda do poço devido à inviabilidade de retirada do equipamento. Complementarmente, poderiam ser previstos tratamentos físico-químicos para a inibição das ações corrosivas ou incrustantes ao longo da rede de distribuição de água (CAVAZZANA, 2012).

O cálculo é feito tomando-se a diferença entre o pH medido da água e o pHe (Equação 1), quando esta mesma água se apresenta saturada com CaCO_3 ou em equilíbrio (pHe), parâmetro obtido pela relação entre os coeficientes A, B, C e D, Equação 2, determinados pelas respectivas Equações 3, 4, 5 e 6, sendo a interpretação dos resultados conforme apresentado na Tabela 9.

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pHe} \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{pHe} = (9,3 + A + B) - (C + D) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$$A = (\text{Log}_{10} [\text{STD}] - 1)/10 \quad \text{Equação 3}$$

$$B = [-13,12 \cdot \text{Log}_{10} (T + 273)] + 34,55 \quad \text{Equação 4}$$

$$C = \text{Log}_{10} [\text{Ca}^{2+}] - 0,4 \quad \text{Equação 5}$$

$$D = \text{Log}_{10}[\text{Alcalinidade}] \quad \text{Equação 6}$$

NOTAS:

STD = Total de sólidos dissolvidos (mg L^{-1});

Ca^{2+} = Concentração de Cálcio;

T = Temperatura em $^{\circ}\text{C}$.

3.11.1. Índice de Saturação de Langelier (LSI)

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pHe} \quad \text{Equação 7}$$

Pelo Índice de Langelier (1946), apud Grades (2004), o valor negativo do LSI (Equação 7), corresponde ao caráter agressivo das águas, ou seja, tendência de corrosão. Se

for positivo, corresponde ao caráter incrustante das águas tendendo a formar precipitados e causar obstruções, caso em que há a supersaturação de CaCO_3 . Quando o LSI se apresenta nulo, há um equilíbrio cálcio-carbônico tornando a água nem incrustante nem agressiva. Para determinar o ISL, faz-se necessário saber a alcalinidade (mg L^{-1} como CaCO_3), dureza em cálcio ($\text{mg L}^{-1} \text{Ca}^{2+}$ como CaCO_3), Sólidos Totais Dissolvidos (STD (mg L^{-1})) e a temperatura da água (K). Com esses dados e com a ajuda das equações pode-se obter o valor de ISL (NING e NETWIG, 2002). Grades (2004) propõe uma classificação detalhada dos valores do LSI, conforme Tabela 9.

3.11.2. Índice de Estabilidade de Ryznar (RSI)

$$\text{RSI} = 2 \times \text{pHe} - \text{pH} \quad \text{Equação 8}$$

A severidade da corrosão ou precipitação pode ser classificada também pelo Índice de Ryznar (1944), *apud* Grades (2004), Equação 8. De acordo com Grades (2004) a variação dos valores de RSI é mostrada na Tabela 9.

Tabela 9. Classificação dos valores do LSI e do RSI, adaptados de Grades (2004).

Valor LSI	Indicação	Valor de RSI	Indicação
> 4	Incrustação severa	> 4	Incrustação severa
3 a 4	Incrustação moderada	4 a 5	Incrustação forte
1 a 3	Incrustação suave	5 a 6	Incrustação leve
0,5 a 1	Incrustação muito suave	6 a 7	Balanceado
- 0,5 a 0,5	Balanceado	7 a 7,5	Corrosão moderada
- 0,5 a -2	Corrosão suave	7,5 a 9	Corrosão forte
- 2 a -5	Corrosão moderada	> 9	Corrosão severa
< -5	Corrosão severa		

Pode-se prever a natureza da água, precipitante ou corrosiva, através do cálculo do Índice de Saturação do Carbonato de Cálcio na solução (Equação 9), ou Índice de Langelier (LANGELIER, 1936).

$$\text{IS} = \text{pHa} - \text{pHc} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

pH_c : é o pH teórico da água que alcançaria, em equilíbrio com o $CaCO_3$ e o pH_a é o pH atual da água.

Se IS for negativo, ocorrerá subsaturação de $CaCO_3$ além de a tendência da água ser corrosiva ou dissolver depósitos cálcicos e, se positivo, tendência para formação de precipitados, causando obstruções.

Caso o valor do pH atual da água for menor que o pH_s , o ISL é negativo, implicando que a água possui um potencial muito limitado de incrustação. Se o pH exceder o pH_s , o ISL é positivo; este fato condiz com uma água supersaturada com $CaCO_3$, a qual possui tendência de formação de incrustação. Lembre que o índice aumenta positivamente, o potencial de formação de incrustação também aumenta. O potencial de incrustação diminui quando o valor do ISL é próximo de zero. Para valores negativos do ISL indica-se que a água em questão possui caráter corrosivo, sendo necessária, também, a aplicação de um tratamento químico (FILHO, 1983).

O ISL é utilizado para avaliar o risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio em soluções de até 10.000 mg L^{-1} de sais dissolvidos, ou seja, águas salobras (SILVA, 2008).

3.12. CARBONATO DE SÓDIO RESIDUAL

Na avaliação da qualidade da água para irrigação em relação ao perigo de sódio, considera-se, além da Relação de Adsorção de Sódio (RAS) o Carbonato de Sódio Residual (CSR).

Normalmente na avaliação da qualidade da água de irrigação, no que diz respeito ao perigo de sódio ou de bicarbonato utiliza-se, além do RAS, o Carbonato de Sódio Residual CSR expresso em meq L^{-1} (EATON, 1950). Segundo Wilcox et al. (1954), água com CSR até $1,5 \text{ meq L}^{-1}$ não oferece nenhum perigo; é aceitável, com valores entre 1,5 e $2,5 \text{ meq L}^{-1}$ e considerada marginal, duvidosa e acima de $2,5 \text{ meq L}^{-1}$ não é adequada para irrigação, inadequada.

No caso de excesso de CO_3^{2-} e HCO_3^- com a evapotranspiração, a solução do solo fica mais concentrada e parte do Ca^{++} e Mg^{++} da solução e adsorvidos precipita como carbonatos de cálcio e/ou de magnésio, permanecendo no solo carbonato de sódio solúvel e sódio adsorvido nos coloides.

Segundo Bernardo et al. (2005), a água pode ser classificada de acordo com a concentração de carbonato de sódio residual denominada CSR sendo determinada pela Equação 10.

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) \quad \text{Equação 10}$$

3.13. COEFICIENTE DE PEARSON

Uma das formas de avaliar a interação e a correlação existentes entre os sais presentes nas águas subterrâneas, é o coeficiente de determinação; trata-se de uma medida descritiva da qualidade do ajuste obtido na reta de regressão linear em um gráfico com duas variáveis; basicamente, este coeficiente indica quanto o modelo foi capaz de explicar os dados coletados.

Ainda se pode utilizar o coeficiente de correlação de Pearson (r) ou coeficiente de correlação, que mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. O coeficiente quantifica a força de associação linear entre duas variáveis e, portanto descreve quão bem uma linha reta se ajustaria através de nuvem de pontos, no gráfico de dispersão. Para desenvolver uma correlação é utilizado o método da regressão linear. Este coeficiente varia entre os valores -1 e 1. O valor 0 (zero) significa que não há relação linear, o valor 1 indica uma relação linear perfeita e o valor -1 também indica uma relação linear perfeita mas inversa, ou seja quando uma das variáveis aumenta, a outra diminui. Quanto mais próximo estiver de 1 ou -1, mais forte é a associação linear entre as duas variáveis.

Para os gráficos de correlação foi utilizado o coeficiente de Pearson. A correlação de Pearson foi utilizada para analisar a variação dos dados. O coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas. Para desenvolver uma correlação é utilizado o método da regressão linear. O coeficiente quantifica a força de associação linear entre duas variáveis e, portanto, descreve quão bem uma linha reta se ajustaria através de nuvem de pontos, no gráfico de dispersão. O coeficiente de correlação de Pearson é normalmente representado pela letra r, sendo raiz quadrada do coeficiente de determinação (TRIOLA, 2008).

Para a análise dos dados utilizou-se o coeficiente de determinação (R²), indicando quanto o modelo foi capaz de explicar os dados coletados. O R² é, portanto, uma medida descritiva da

qualidade do ajuste obtido. Em geral, referimo-nos ao R^2 como a quantidade de variabilidade nos dados que é explicada pelo modelo de regressão ajustado (TRIOLA, 2008).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

O estudo teve, como campo de investigação, o município de Boa Vista, totalizando uma área de 446,30 km², localizada entre as Coordenadas 7° 09' 03,7" e 7° 22' 19,7" de latitude Sul e 36° 05' 25,6" e 36° 22' 22,8" de longitude Oeste (FIGURA 2). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSh', que significa semiárido quente, com precipitação média de 416,3 mm/ano (AESAs, 2016).

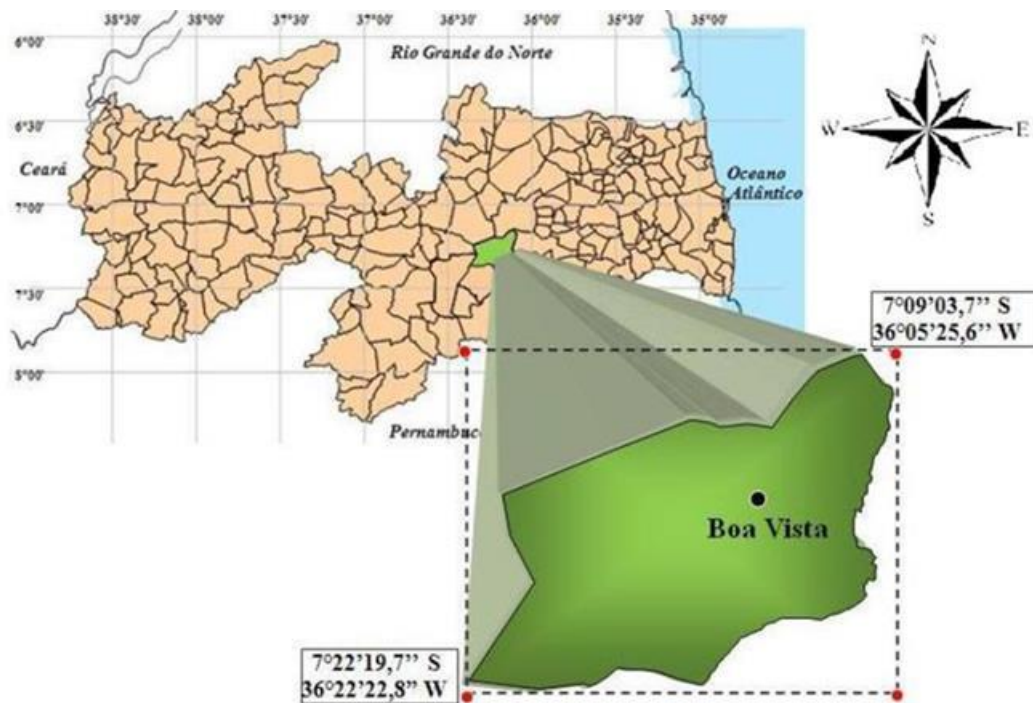


Figura 2. Localização da área em estudo. **Fonte:** (SOUSA, 2007).

A região de Boa Vista está inserida nos aquíferos cristalinos sob rochas cristalinas, essas rochas possuem reduzida capacidade de armazenar e circular suas águas subterrâneas, apresentam uma concentração muitas vezes excessiva de sais, especialmente onde são mais deficientes as condições de recarga a partir das precipitações pluviométricas, apresentando águas com maior grau de mineralização (ROCHA, 2008).

4.2. RECURSOS HÍDRICOS

A água subterrânea é um recurso resultante de um processo no qual interagem o clima e seus elementos com a fisiografia do Estado, recebendo também influência de sua constituição geológica (PARAÍBA, 1994). Destaque-se que no município não há condição de formação de grandes mananciais em virtude da adversidade das condições climáticas e da fisiografia desfavorável, com solos rasos, favorecendo muito mais ao escoamento superficial, uma cobertura vegetal rala e de pequeno porte e formações rochosas de baixa permeabilidade, como as rochas ígneas e metamórficas, o que limita as fraturas a possibilidade de infiltração e possível armazenamento d'água subterrânea, apresentando o cristalino como único sistema aquífero (FALCÃO, 2013).

4.3. VEGETAÇÃO

Algumas das principais espécies vegetais com ocorrência no município de Boa Vista-PB são: umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), angico (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (Griseb.)), juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), quixabeira (*Bumelia sertorium* Mart.), aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão), braúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.), juremapreta (*Mimosa tenuiflora*), xique-xique (*Pilosocereus gounellei* Weber), macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult.f.) e mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.) (NASCIMENTO e OLIVEIRA, 2005; AGRA et al., 2007).

4.4. PRECIPITAÇÃO

Segundo a AESA (2016), o município de Boa Vista localizado no Estado da Paraíba, possui, no quadro de expectativas de acumulado de chuvas anuais com climatologia inferior a 500 mm por ano. Durante a pesquisa o município teve acolhimento de águas muito abaixo do que é considerada média (climatologia) para o local.

Verifica-se a distribuição das chuvas acumuladas ao longo dos meses, durante cada ano, e se observa neste município, que existem características de variação temporal elevada entre os meses de janeiro a dezembro, além de representar valores pequenos e não regulares e

até o mês considerado de maior regime de chuva (março) chega a não chover praticamente nada (anos de 2010, 2012, 2013), o que inviabiliza a maioria das culturas de ciclo anual, que necessitam em média de 300 a 500 mm num ciclo de 3 a 5 meses não sendo, assim, uma climatologia esperada, suficiente para a programação de eventuais explorações de agricultura de sequeiro. Os meses de agosto a dezembro, com relação a alguns anos de acordo com a Tabela 10, são marcados pela baixa ou quase nenhuma precipitação pluviométrica, período muito pequeno de chuvas e/ ou com irregularidades na distribuição ao longo do ano.

Tabela 10. Distribuição de chuvas acumuladas mensalmente entre os anos de 2014 e 2015, no município de Boa Vista - PB.

Precipitação (mm)	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Ano 2015	0,0	5,8	3,4	0,0	9,1	21,1	70,9	5,4	0,0	0,0	0,0	12,8
Ano 2014	0,0	38,9	11,0	48,6	117,2	30,4	37,6	5,2	31,0	17,9	13,8	0,0
Climatologia	26,0	35,2	82,3	69,4	58,7	53,0	45,9	19,2	5,5	6,6	4,3	9,4

Fonte: AESA (2016)

4.5. SOLOS

Associados a uma expectativa de chuva muito baixa existem solos rasos, predominantes na região de solos Bruno não Cálcico grande parte composto de Planossolo solódico (Solonetz Solodizado) que tem bastante influência na liberação de sais durante o processo chuvoso, deixando os riachos com água salobra e salina, além de algumas manchas de Litólico Eutrófico (Figura 3); conforme a EMBRAPA (2016), tais condições são mais limitantes quanto ao uso e capacidade de exploração agrícola do solo, exigindo consciência em relação à sua exploração produtiva.

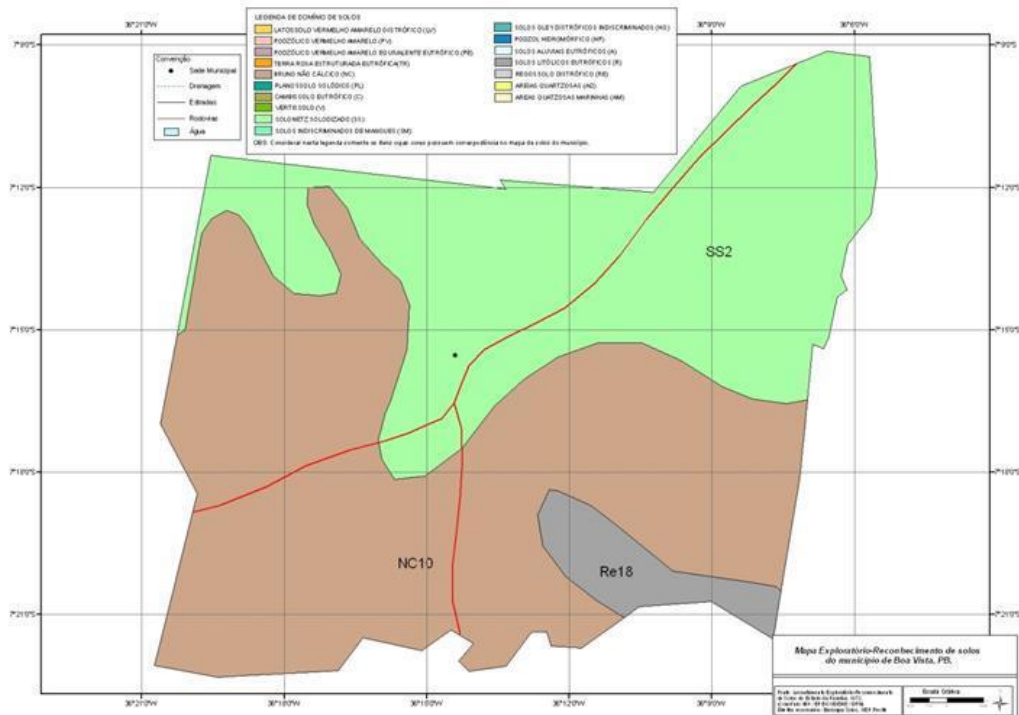


Figura 3. Características predominantes de tipos de solos existentes na região do município de Boa Vista - PB. **Fonte:** EMBRAPA (2016).

As classes de capacidade de uso das terras, conforme a AESA (2016) são três, com maior proporção de terras não cultivadas com severas limitações, terras íngremes mais susceptíveis a erosão, próprias para cultivos contínuos e que se prestam mais para lavoura esporádica; também existem Terras com pedregosidade, severamente erodidas, arenosas e encharcadas, próprias para o abrigo de fauna silvestre e preservação de flora natural. É imperioso o cuidado em conservar os solos agrícolas, visto que o mesmo está ligado à prosperidade de poder infiltrar mais água durante as chuvas, disponibilizar mais nutrientes e, conseqüentemente garantir uma produção mesmo em situações de intervalos mais longos de precipitação, de vez que os solos dessa região são rasos e jovens e, além do mais, apresentam problemas com teores de sais em suas águas, tanto superficiais quanto subterrâneas, exigindo maior conhecimento do potencial dessas fontes para a comunidade rural ter maior segurança no seu uso.

Analisando a Figura 4 quanto à capacidade de uso do solo, observa-se que na legenda a cor roxa é indicativo “*Terras com pedregosidade, severamente erodidas, arenosas e encharcadas, próprias para o abrigo de fauna silvestre e preservação de flora natural*”, para manchas brancas “*Terras íngremes mais susceptíveis a erosão, próprias para cultivos*

contínuos e que se prestam mais para lavoura esporádica” e para as manchas marrons “Terras não cultivadas com severas limitações para culturas permanentes e reflorestamento”.

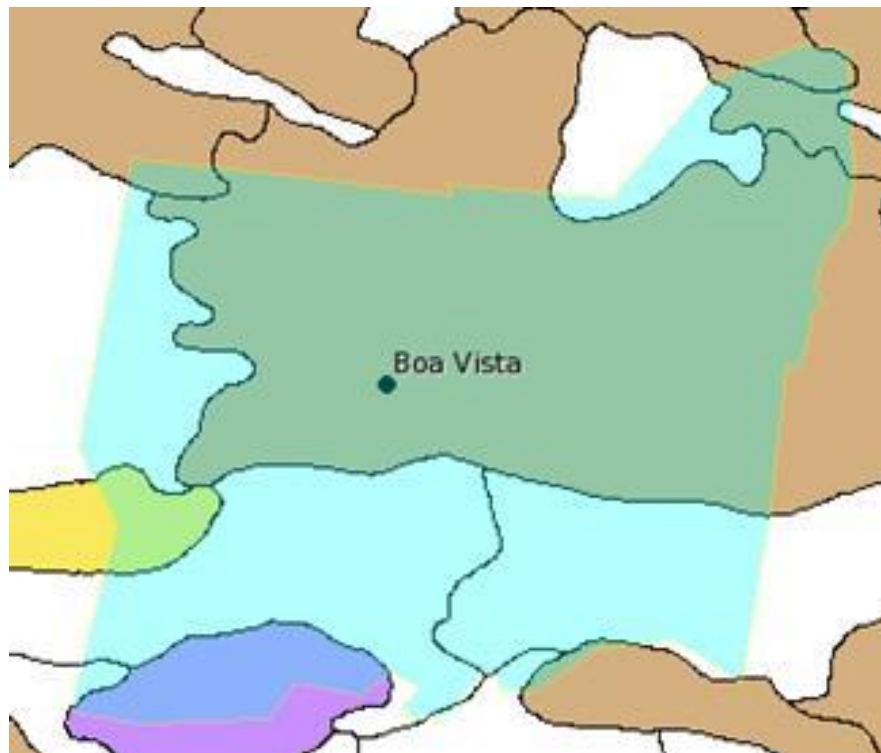


Figura 4. Características de Capacidade de uso do solo para a região do município de Boa Vista - PB. Fonte: AESA (2016).

4.6. CONDUÇÃO DOS TRABALHOS DE CAMPO

A pesquisa teve início em outubro de 2014, estendendo-se até agosto 2015, quando obteve repetições de coleta em duas etapas, para obter valores máximo, mínimo, média e mediana dos teores de sais dos poços tubulares pesquisados.

4.7. PROCEDIMENTOS DE COLETA DE DADOS

Em referência à primeira etapa, foram coletadas 86 amostras das fontes em todo o município, realizando-se um diagnóstico da qualidade da sua água subterrânea.

Em referência à segunda etapa, foram coletadas apenas 76 amostras das fontes, em todo o município, em virtude de alguns poços terem quebrado ou secado, realizando-se um diagnóstico da qualidade da sua água subterrânea, tal como, os pontos foram georreferenciados usando-se um GPS 12 XL (Figura 5), fotografados com máquina digital.

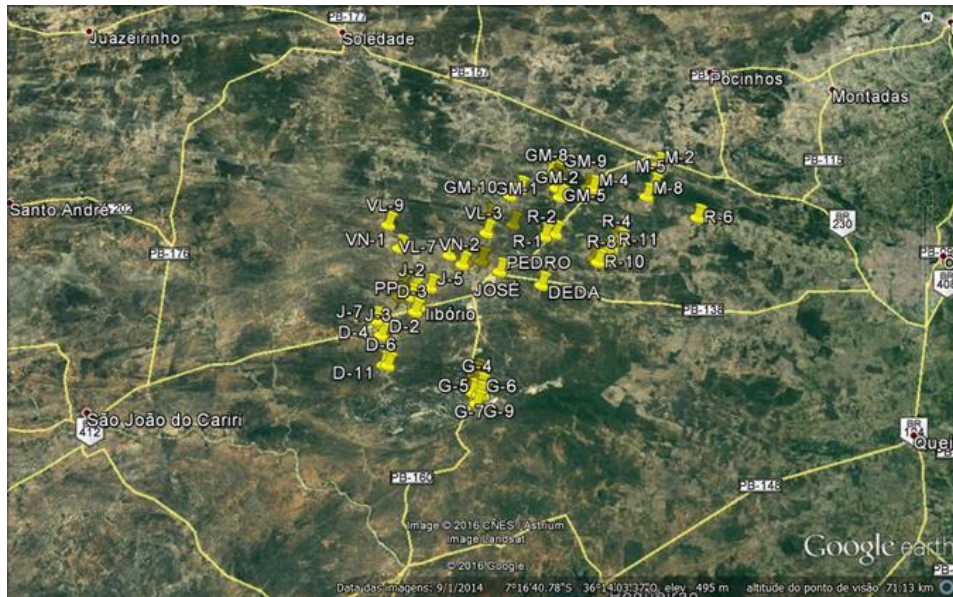


Figura 5. Pontos georreferenciados e usados no Google Earth, 2016

A pesquisa foi realizada na região do município de Boa Vista-PB, nas comunidades rurais de Malhadinha, Bravo, São Joãozinho, Farinha, Roçado do Mato, Lajes, Rabicha, Santo Antônio, São Bento, Poço de Pedra, Caluête, Monte Alegre, Santa Rosa, Matumbo e Mônica.

4.8. PROCEDIMENTO DE COLETA DAS AMOSTRAS DE ÁGUA

Para a coleta das águas foram utilizadas garrafas plásticas de 2 litros, as quais foram lavadas com água do poço tubular, a ser analisada; as garrafas foram mergulhadas rapidamente com a boca para baixo até a profundidade de 15 a 30 cm abaixo da superfície da água e em seguida inclinadas, direcionando suas bocas para cima (existiu, preferencialmente, coleta diretamente de tubos Figura 6, bombeados por cata-vento e em reservatórios fechados evitando que a água tenha sofrido contaminação externa ou evaporado, produzindo concentração de sais não real à condição do poço). Também ocorreu a coleta em reservatórios fechados (Figura 7). Depois das garrafas serem preenchidas até a borda, sem deixar espaço vazio (bolha de ar), foram fechadas imediatamente com suas próprias tampas, de modo a não deixar vazamento.



Figura 6. Coleta das amostras de água direto do tubo



Figura 7. Coleta das amostras de água em reservatório fechado

Após o procedimento de coleta as garrafas foram identificadas e trazidas ao Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG (Figura 8). Foram registradas, em uma ficha de campo, informações particulares de cada poço, como: nome do proprietário, propriedade, altitude, latitude, longitude, tipo de fonte de bombeamento e seus principais usos.



Figura 8. Águas analisadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG.

4.9. TIPOS DE FONTE

Na Figura 9 estão listados todos os tipos de fontes de coleta do município em que foram coletadas amostras de água. A maior quantidade de amostras de água do município foi coletada em Cata-Vento (45), Figura 9A, seguido de Bomba Elétrica (28), Figura 9B e Compressor (3), Figura 9C, não sendo possível a coleta de outras 10 amostras, visto que os poços estavam secos ou quebrados.



Figura 9. Locais de coleta das amostras de água, Cata-vento (A), Bomba Elétrica (B) e Compressor (C)

4.10. ANÁLISE E CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS

As análises das amostras de água foram realizadas no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola/Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UAEAg/CTRN/UFCG), onde foram avaliadas as seguintes variáveis: pH, condutividade elétrica (CE), cálcio (Ca^{++}), magnésio (Mg), sódio (Na^+), potássio (K^+), cloreto (Cl^-), carbonato (CO_3^-), bicarbonato (HCO_3^-) e RAS, e identificadas a presença e a ausência de sulfato.

Para a análise dos resultados foram calculados valores por fórmulas de alcalinidade, dureza total, Sólidos Dissolvidos Totais, ISL e RSI. O comportamento das variáveis foi avaliado por meio das seguintes medidas descritivas utilizando o programa Excel: máximo, mínimo, mediana e média; já para sólidos totais dissolvidos, utilizando-se CPRM (2012).

Para caracterizar hidroquimicamente as águas subterrâneas, utilizou-se o Programa Qualigraf (MÖBÜS, 2003); no software Qualigraf foi possível utilizar 78 amostras de água que apresentaram presença do sulfato.

As águas foram classificadas por alguns parâmetros quanto à conveniência para o consumo humano, conforme a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005) e a Portaria do Ministério da Saúde nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011 (BRASIL, 2011). Para os parâmetros: cálcio, magnésio e potássio, foram tomados, como base, as referências da Organização Mundial de Saúde (OMS, 1999). Para irrigação foi utilizado à interpretação de Richards (1954), UCCC (1974), USSL. As águas para dessedentação animal foram classificadas segundo Ayers & Westcot (1999), Ministério do Meio Ambiente (2014) e Scheideler e Pendleton (1995)

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Para a caracterização hidroquímica da água pelo software qualigraf, foram utilizadas 78 amostras nas quais identificadas à presença de sulfato, na primeira e na segunda coleta.

5.1.1. Uso das Águas

A adequação das águas para uso na irrigação (Figura 10) está representada no diagrama de Razão de Adsorção de Sódio (RAS) com amostras de água subterrânea de Boa Vista, para o período de coleta.

Na Figura 10 observa-se a classificação das águas para a irrigação, baseada nos valores de condutividade elétrica e na razão de adsorção de sódio (RAS), para as águas analisadas (U.S.D.A., 1954). Registra-se que a maioria das águas apresenta um perigo excepcionalmente alto de salinização do solo (C4) e um perigo muito forte de alcalinização (S4), indicando alta concentração de sódio não devendo, então, ser utilizada em qualquer tipo de solo, não sendo indicada para uso na irrigação (U.S.D.A., 1954).

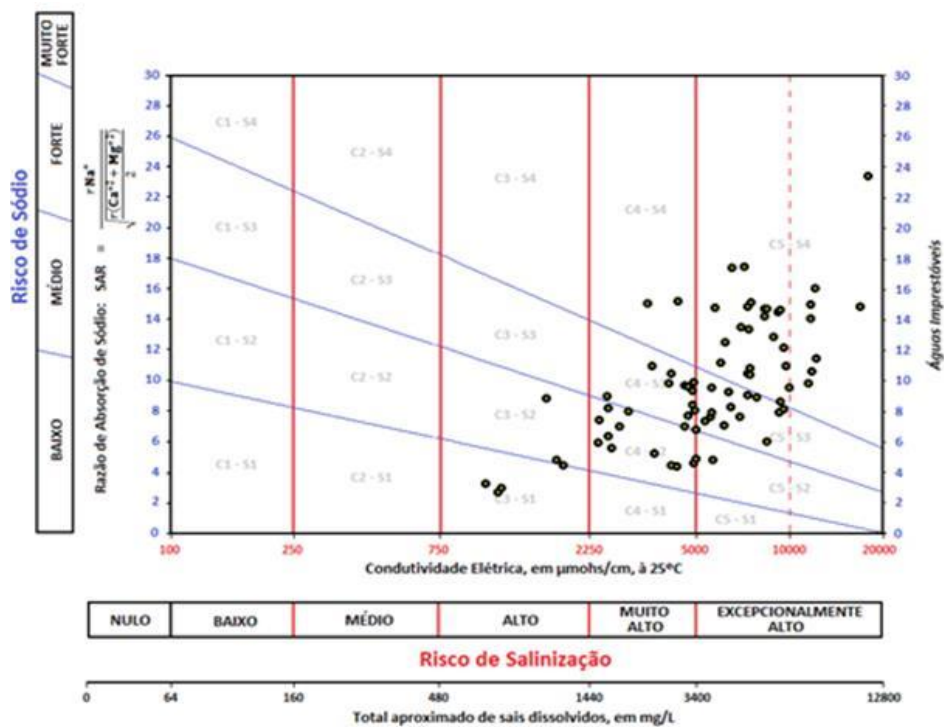


Figura 10. Diagrama da USDA para as amostras de água coletada. Boa Vista, 2015

Tendo em vista classificar as águas subterrâneas para serem utilizadas nos diferentes usos, os resultados das análises físico-químicas foram plotados em um diagrama de Piper (Figura 11), evidenciando os valores dos íons dominantes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} e Cl^-) expressos em unidade de meq L^{-1} , determinados em laboratório.

5.2. DIAGRAMA DE PIPER

A caracterização hidroquímica das amostras do município de Boa Vista-PB foi feita através de Diagramas de Piper, que permitem classificar as águas quanto aos ânions e cátions predominantes (sem considerar sua concentração absoluta). A Figura 11 representa o Diagrama de DUROV com amostras de água subterrânea nos períodos de 2014 e 2015.

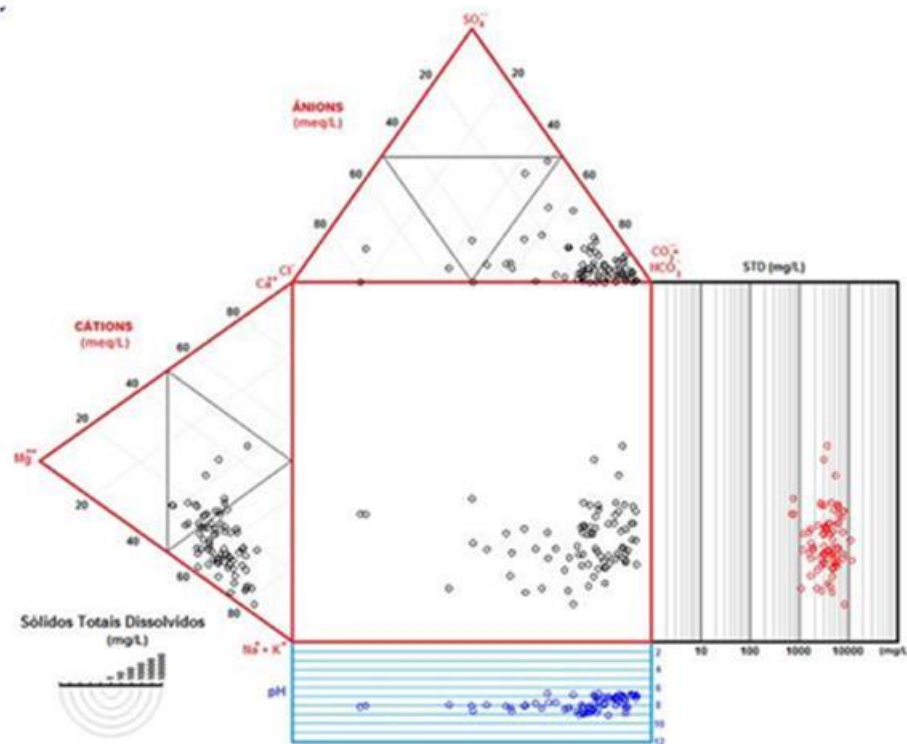


Figura 11. Diagrama de DUROV

De acordo com o Quadro 1, a maioria das águas (69%) é classificada como sódica cloretada, o que confirma com Silva Junior et. al. (1999) que estudaram a composição química das águas do nordeste e relatam que os resultados mostraram que, de modo geral, as

águas do cristalino do Nordeste brasileiro são cloretadas sódicas com alguma variação, de acordo com a litologia do local de origem.

Quadro 1. Classes das águas

Classes das águas	Nº	(%)	Classes das Águas	Nº	(%)
Sódicas	59	76	Cloretadas	71	91
Mistas (Cátions)	19	24	Bicarbonatadas	3	4
			Mistas	4	5
Classes das águas	Nº	(%)	Classes das águas	Nº	(%)
Sódicas cloretadas	54	69	Cloretadas mistas	17	22
Sódicas Bicarbonatadas	2	3	Bicarbonatadas mistas	1	1
Sódicas mistas	3	4	Mistas	1	1

Nascimento e Barbosa (2005) caracterizaram, estudando o aquífero da bacia do Rio Lucaia, as águas subterrâneas, principalmente de natureza cloretada sódica (68%), corroborando com os resultados obtidos por Fenandes et. al. (2013) com análises hidroquímicas de que os poços de Quissamã possuem predominância em sua classificação de águas cloretadas sódicas.

5.3. ANÁLISE DE PIPER

De acordo com a tabela na avaliação da toxicidade com relação aos cátions, verifica-se que a maioria das amostras é de águas sódicas (76%) e águas mistas (24%).

As amostras se enquadraram em 3 classes, em que 69% são águas sódicas cloretadas; 3,0% sódicas bicarbonatadas (Figura 12); essas águas se comportam como antiácidos, atuando como neutralizadores da acidez gástrica e também podem favorecer a ação dos fermentos pancreáticos; portanto, são favoráveis para o tratamento de doenças hepáticas-pancreáticas. A ação alcalinizante da urina pode favorecer a eliminação de sedimentos e pequenos cálculos

Em uma sequência decrescente e se considerando os teores médios dos cátions, tem-se $\text{Na} > \text{Mg} > \text{Ca} > \text{K}$ nos dois períodos de coleta e $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ e CO_3^{2-} , para os ânions.

Com o diagrama de Schöller e Berkloff (Figura 13), pode-se observar os demais parâmetros analisados; este diagrama nos mostra simplificada a presença dos íons analisados com o intuito de poder analisar os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação. Segundo o Diagrama de Schoeller e Berkloff (Figura 13), verifica-se que se encontram contaminados, apresentando restrições para o consumo humano em relação à dureza, sódio, cloretos, sulfato e STD; apenas o cálcio possui boa potabilidade.

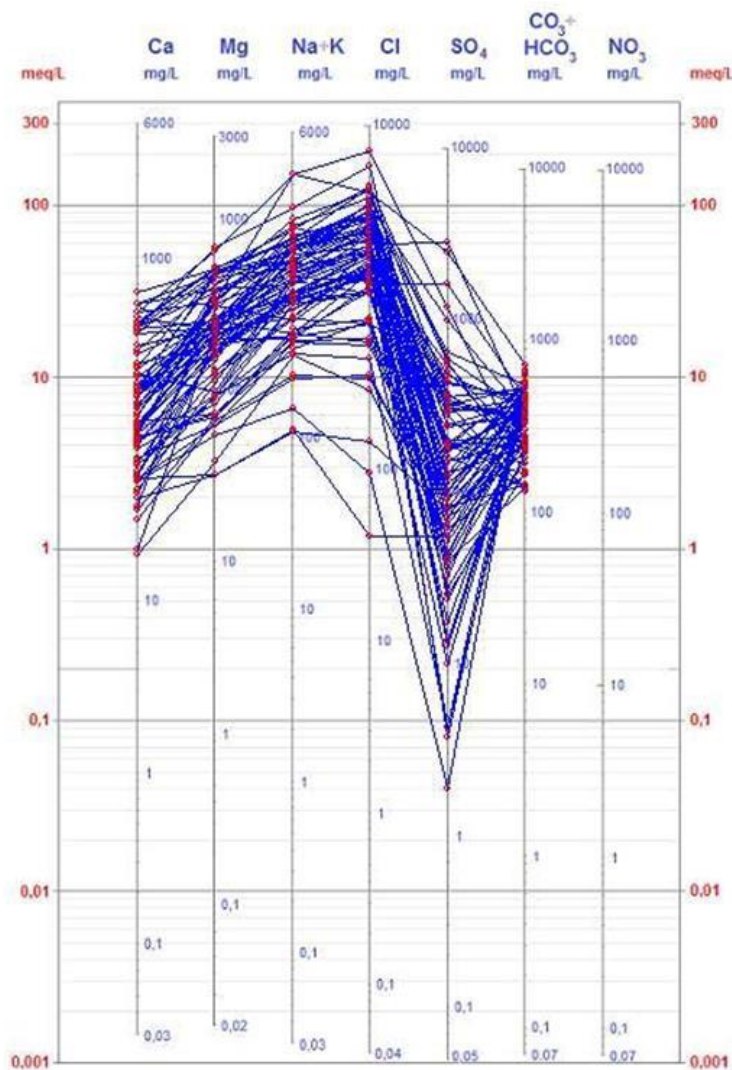


Figura 13. Diagrama de Schöller e Berkloff para potabilidade das águas subterrâneas.

Conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005 pode-se afirmar que 92,31% das águas analisadas são salgadas e apenas 7,69% são águas salobras e 0% doces (Figura 14), o que é confirmado pelo estudo realizado pelo CPRM (2011) através do Projeto Cadastro da

Infraestrutura Hídrica do Nordeste que tinha, como ênfase, as fontes de abastecimento por água subterrânea localizada no semiárido do Nordeste, englobando os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, norte de Minas Gerais e Espírito Santo; dos 21.662 poços tubulares cadastrados nesta etapa, foram coletados 15.338 amostras de água e realizadas medidas de condutividade elétrica a partir das quais foram obtidos os valores de Sólidos Totais Dissolvidos - STD para cada poço amostrado, revelando que apenas 25% dos poços cadastrados nessa área apresentam água doce; os demais 75% foram classificados como água salobra ou água salgada.

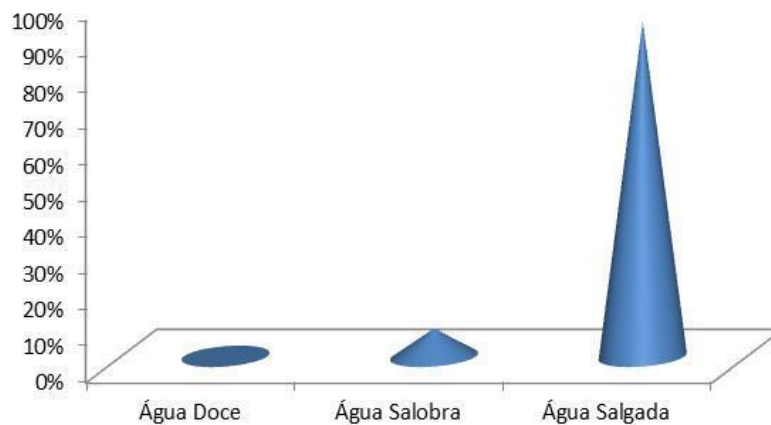


Figura 14. Classificação quanto aos sólidos totais dissolvidos

De acordo com o Quadro 2, pode-se dizer que 4% das amostras são S1, água com baixa concentração de sódio, podendo ser usados na maioria dos solos e com possibilidade mínima de obter níveis altos de sódio trocável; 21% são S2, que são águas com concentração média de sódio, usadas em solos com textura fina e com alta capacidade de troca catiônica apresentam risco de sodificação e solos e textura grossa ou orgânicos de boa permeabilidade não representam risco de sodificação; 33% são S3, apresentando alta concentração de sódio na maioria dos solos podendo produzir níveis críticos de sódio trocável; portanto são de fundamental importância, o bom manejo de solo, boa drenagem, alta lixiviação e incorporação de matéria orgânica e 42% são S4 com extrema concentração de sódio sendo imprópria para irrigação podendo ser utilizada em solos com boa drenagem ou com presença de gesso.

Afirmar-se que 8% das amostras são C3, água de alta salinidade que não deverá ser usada em solos com pouca drenagem; se utilizadas em solos com boa drenagem, deverão ser feitas práticas de controle de salinidade com vegetais muito tolerantes aos sais; 35% são C4,

águas inapropriadas para irrigação, passíveis de ser utilizadas em casos especiais em que os solos são bastante permeáveis com drenagem adequada, devendo ser aplicada em excesso para uma boa lixiviação e em culturas altamente tolerante aos sais e 58% são C5, água com salinidade extremamente alta excepcionalmente elevado risco de salinidade.

Quadro 2. Classificação das águas segundo a sodicidade e salinidade

Classe	Nº	(%)	Classe	Nº	(%)
S1	3	4,0	C3	6	8,0
S2	16	21,0	C4	27	35,0
S3	26	33,0	C5	45	58,0
S4	33	42,0			

De acordo com o Quadro 3, foram analisadas 78 amostras de água no software Qualigraf das quais o valor mínimo de condutividade elétrica da água foi de 1040 dS m⁻¹ e o valor máximo de 17.904 dS m⁻¹, com média aritmética de 36.21 dS m⁻¹ e um desvio padrão de 3.432 dS m⁻¹, enquanto a RAS, o valor mínimo foi de 2,70 e o valor máximo de 17.904, com média aritmética de 24.64 e desvio padrão de 4.96 e, nos dois parâmetros, a variância foi extremamente alta.

Quadro 3. Análise das amostras de água pelo Qualigraf

Características	CE (dS m⁻¹)	RAS
Nº de Amostras	78	78
Valor Mínimo	1.040	2,70
Valor Máximo	17.904	36.21
Média Aritmética	6.43	10.24
Variância	11.781,710	24.64
Desvio Padrão	3.43	4.96

Verifica-se, no Quadro 4, verifica-se o número de amostras de cada classe de acordo com a classificação das águas descrita na metodologia; os resultados mostram que as águas das classes C1, C2, S1 e S2 são as melhores e são inexistentes. O número de amostras na

classe C3 também é em menor número; já para a classe C4 são em maior número. Portanto, como não houve recarga, as águas são deficientes quanto à qualidade e também quanto à potabilidade, possivelmente pela lixiviação de compostos poluidores dispostos na superfície.

Quadro 4. Classificação segundo a USSL pelo software Qualigraf

Classe	Nº	(%)
C3S1	3	3,8
C3S2	3	3,8
C4S2	12	15,4
C4S3	13	16,7
C4S4	2	2,6
C5S2	1	1,3
C5S3	13	16,7
C5S4	31	39,7

Das amostras analisadas 3,8% são C3S1 e 3,8% são C3S2, 15,4% são C4S2, 16,7% são C4S3 e 2,6% são C4S4. Cerca de 16,7% das amostras são classificadas como C5S3 e 39,7%, são C5S4, Quadro 5.

No Quadro 5 verifica-se a classificação da água da irrigação quanto ao risco de salinidade e sodicidade conforme diagrama proposto por RICHARDS (1954). As águas dos poços variaram entre as classes C3S1 (alto risco de salinidade e de sodicidade baixo), C3S2 (riscos de salinidade alta e de sodicidade médio), C4S2 (riscos de salinidade muito alto e de sodicidade médio), C4S3 (riscos de salinidade muito alto e de sodicidade alto) C4S4 (riscos de salinidade muito alto e de sodicidade muito alto) C5S3 (riscos de excepcionalmente elevado de salinidade e de sodicidade alta) e C5S4 (riscos excepcionalmente elevado de salinidade e de sodicidade muito alto).

5.4. ANÁLISE DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A estatística descritiva de todas as águas, coletadas ao longo do ano de novembro de 2014 a agosto de 2015, Tabela 11, a média de condutividade elétrica foi de 7262,4 uS cm⁻¹ a 25 °C e um coeficiente de variação alto de 51,4 classificada como inviável para consumo

humano, dessedentação animal e irrigação. A média de sódio, magnésio, potássio e cloreto também, ultrapassaram o VMP, pela Portaria 2914/11 e a OMS sendo inapropriada neste parâmetro para consumo humano. O cálcio foi o único parâmetro que ficou abaixo do VMP com 194,6. O coeficiente de variação foi alto porque os valores diferem muito de uma fonte para outra.

Conforme os resultados da Tabela 11, com exceção do pH, ocorreu uma variação elevada na concentração dos demais parâmetros estudados (CE, Mg, Ca, Na, K, bicarbonato, cloreto e carbonato); também, ainda que o coeficiente de variação foi muito alto nesses parâmetros indicando uma variabilidade elevada na qualidade da água dos pontos amostrados. O desvio padrão constata de alta dispersão em torno da média demonstrando, assim, a complexidade e a heterogeneidade no comportamento das variáveis das águas da região das rochas cristalinas, no seu conjunto. Isto sugere diferentes condições de recarga, armazenamento e da dinâmica do fluxo subterrâneo do meio fissural. Esta grande variabilidade estatística atesta a necessidade de se estabelecer um zoneamento hidroquímico por região, com possíveis influências das características fisiográficas e climáticas de cada contexto (COSTA, 2006).

Tabela 11. Resultado dos principais parâmetros determinados nas amostras de águas, coletadas em fontes localizadas no Estado da Paraíba.

	pH	CEa (uS/cm)	Ca ⁺⁺ (mg L ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (mg L ⁻¹)	Na ⁺ (mg L ⁻¹)	K ⁺ (mg L ⁻¹)	CO ₃ ⁼ (mg L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	RAS
Média	8,7	7262,4	194,6	259,4	1013,3	56,9	80,2	309,1	2437,3	11,4
Mediana	7,6	7190,0	141,6	237,1	920,0	24,6	57,6	301,6	2258,2	11,0
Desvio padrão		3734,5	157,9	155,3	585,5	230,5	131,5	157,6	1520,0	5,1
Máximo	10,1	17550,0	632,2	803,0	3385,1	2152,0	1104,0	648,4	7768,1	36,0
Mínimo	6,1	690,0	6,8	11,5	101,2	3,9	0,0	59,2	35,5	1,3
Coeficiente de variação	334,2%	51,4%	81,1%	59,9%	57,8%	405,3%	163,8%	51,0%	62,4%	44,9 %

A estatística descritiva da 2ª coleta, todas as águas, segundo a Tabela 12, apresentaram uma média de condutividade elétrica de 7841,5 uS/cm a 25 °C, classificada como não recomendada para consumo humano com elevada condutividade elétrica está associado a sua excessiva mineralização que se manifesta sob forma de sabor desagradável, inviável para

dessedentação animal e irrigação. A média do cálcio, sódio, potássio, cloreto e magnésio também ultrapassou o VMP pela Portaria nº 2914/11 e a OMS sendo inapropriada neste parâmetro para consumo humano. A CEa apresentou um coeficiente de variação de 48,9. O coeficiente de variação foi bem elevado nas várias variáveis, isso ocorreu porque os valores diferem muito de uma fonte para outra. Mesmo o valor máximo de 17,940 dS m⁻¹ de condutividade elétrica da água ainda pode ser considerado um baixo nível de salinidade para a *Atriplex nummularia*, visto que esta planta consegue ter bons rendimentos, mesmo quando irrigada com água de níveis de salinidade equivalentes a 57,0 dS m⁻¹ (FAO, 1996).

Tabela 12. Resultado dos principais parâmetros determinados nas amostras de águas, coletadas em fontes localizadas no Estado da Paraíba.

	pH	CEa (uS/cm)	Ca ⁺⁺ (mg L ⁻¹)	Mg ⁺⁺ (mg L ⁻¹)	Na ⁺ (mg L ⁻¹)	K ⁺ (mg L ⁻¹)	CO ₃ ⁼ (mg L ⁻¹)	HCO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	Cl ⁻ (mg L ⁻¹)	RAS
Média	8,24	7841,5	212,8	296,1	985,2	34,2	83,4	264,7	2770,1	10,0
Mediana	7,9	7190,0	141,6	237,1	920,0	24,6	57,6	301,6	2258,2	9,5
Desvio padrão		3834,4	165,0	173,5	555,7	32,0	66,8	107,7	1561,2	4,0
Máximo	9,0	17904,0	711,0	691,4	3385,1	179,4	496,8	608,2	7091,1	23,4
Mínimo	6,6	1143,0	26,0	33,0	101,2	3,1	0,0	56,1	146,3	2,3
Coeficiente de variação	137,29 %	48,9%	77,5%	58,6%	56,4%	93,5%	80,1%	40,7%	56,4%	40,3 %

A quantidade de carbonatos, nas águas estudadas, é bem menor quando comparado com os bicarbonatos. Não foi encontrado valores de pH acima de 10. O carbonato somente excederá o bicarbonato quando o pH for igual ou superior a 10 (LOGAN, 1965). A alta concentração de sódio encontrado no presente estudo é um fator limitante de seu uso na agricultura e no consumo humano.

5.5. MAPA DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA ÁGUA DO MUNICÍPIO DE BOA VISTA - PB

A Figura 15 foi confeccionada a partir do software Surfer, a partir das coordenadas de latitude e longitude da região e, com a condutividade elétrica da água de cada ponto, as condutividades variaram de 0,690 dS m⁻¹ na comunidade do Lajes, a 17,550 dS m⁻¹ na

comunidade de São Bento. Os altos valores de condutividade apresentam alta correlação com a salinidade devido à natureza dos fraturamentos de maior frequência e menor espaçamento das aberturas promovendo maior interação entre a rocha e a água (ROCHA, 2008).

Com este mapa pode-se verificar as zonas onde se encontram as maiores concentrações de sais. As plantas halófitas se desenvolvem naturalmente em ambientes com elevadas concentrações salinas (tipicamente Na^+ e Cl^-), passíveis de variar de 4,5 a 14,0 dS m^{-1} (WILLADINO; CAMARA, 2005).

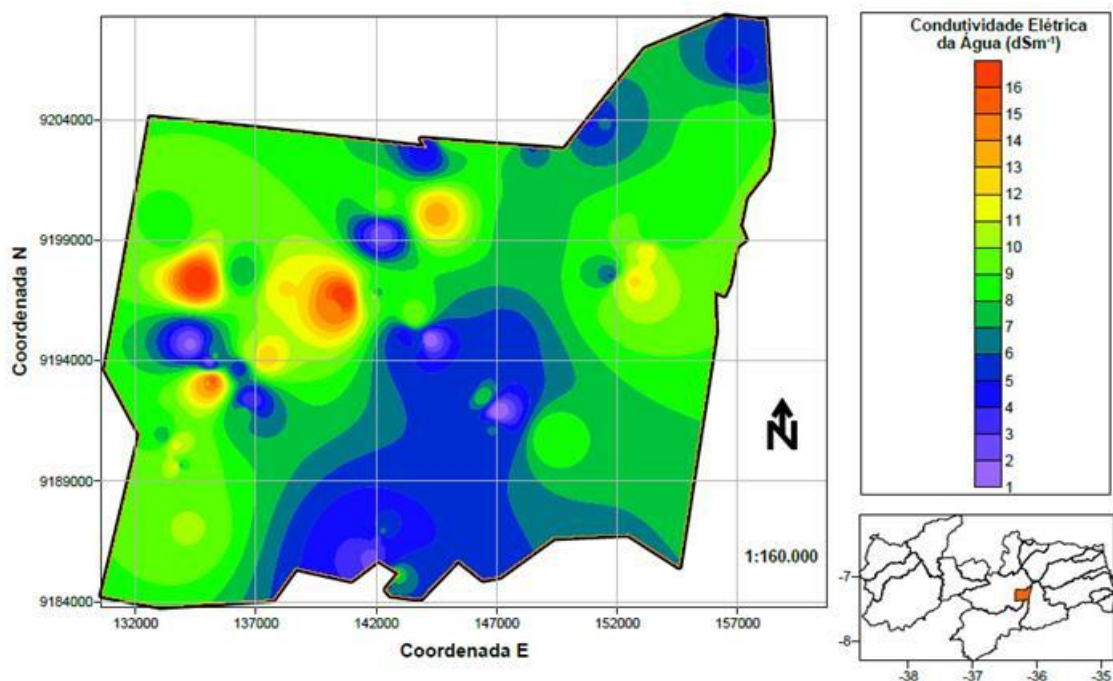


Figura 15. Condutividade elétrica da água da região de Boa Vista - PB.

Comparando o mapa da condutividade elétrica da água com o mapa de solos elaborado pela AESA (2016) podemos observar que as manchas vermelhas são os solos Solondez Solodizado que têm muita influência na liberação de sais durante o processo chuvoso, infiltrando e sendo incorporado nas águas subterrâneas, denotando um alto valor de condutividade elétrica da água.

Na Comunidade Malhadinha esta fonte é alimentada por um compressor (Figura 16); a água foi coletada de um tubo que libera direto do poço. Água com nível extremamente elevado de condutividade elétrica ($10,5 \text{ dS m}^{-1}$), o que a torna imprópria para consumo humano, para dessedentação animal e para irrigação sendo utilizada apenas para o banho dos porcos.



Figura 16. Água para banho dos porcos.



Figura 17. Coleta de amostra de água em um reservatório aberto.

Comunidade Mônica (Figura 17): é fonte alimentada por cata-vento e sua água foi coletada de um reservatório aberto com um nível extremamente elevado de condutividade elétrica ($14,3 \text{ dS m}^{-1}$). Todo o reservatório estava corroído pelos sais presentes na água.

5.6. CORRELAÇÃO ENTRE A CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DA ÁGUA E OS DEMAIS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Para as análises do coeficiente de Pearson, foram utilizadas 86 amostras de água na 1ª e 76 na 2ª coleta e 78 amostras com a presença de sulfato (nas duas coletas). A tendência de variação do pH das águas subterrâneas com o aumento da condutividade elétrica é nula. O pH das fontes variou entre 6,07 e 10,1, sem dependência dos valores com o grau de salinidade. As variáveis não estão correlacionadas (Figura 18).

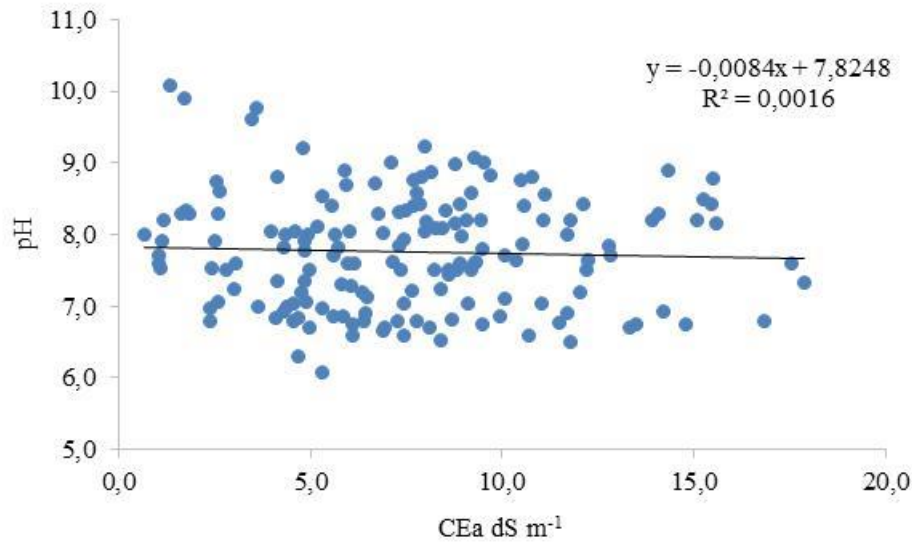


Figura 18. Correlação entre valores de pH x condutividade elétrica da água

De acordo com Figura 19, os valores de cálcio até 5 dS m^{-1} ; uma tendência linear do cálcio com a condutividade elétrica, acima de 5 dS m^{-1} a tendência não é linear com coeficiente de correlação de 0,61 (Tabela 13), evidência de moderada correlação com a condutividade elétrica da água.

A correlação é baixa para CEa maior que 10 dS m^{-1} , havendo uma dispersão maior entre os pontos, diminuindo o valor da correlação.

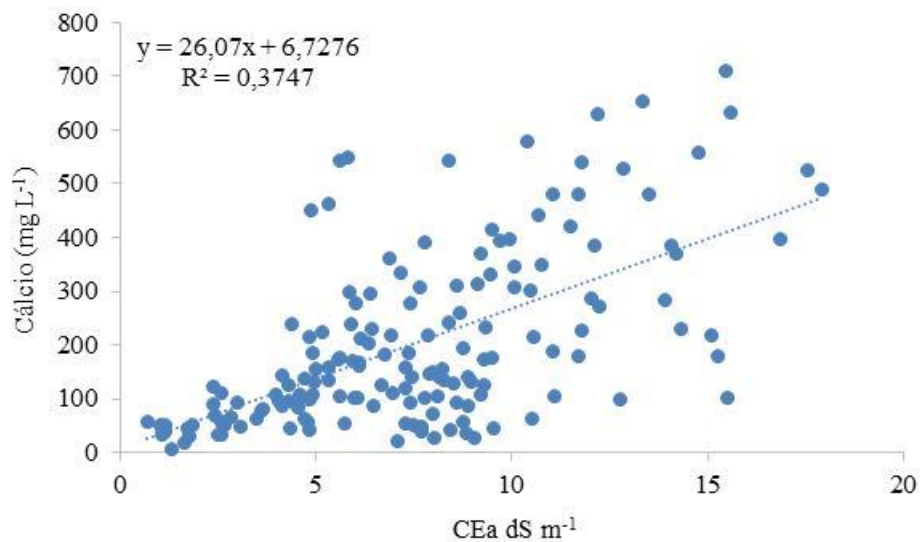


Figura 19. Correlação entre os valores de cálcio x condutividade elétrica da água

Conforme a Figura 20, o magnésio tem tendência linear em relação à condutividade elétrica, possuindo um coeficiente de correlação de 0,90, ou seja, uma correlação forte com a condutividade elétrica da água. Os valores de magnésio teve seu aumento diretamente proporcional ao aumento da condutividade elétrica nas fontes subterrâneas. Deste modo mais de 80% da variância da concentração de magnésio são explicados pela variação da CEa, havendo uma correlação fortemente positiva.

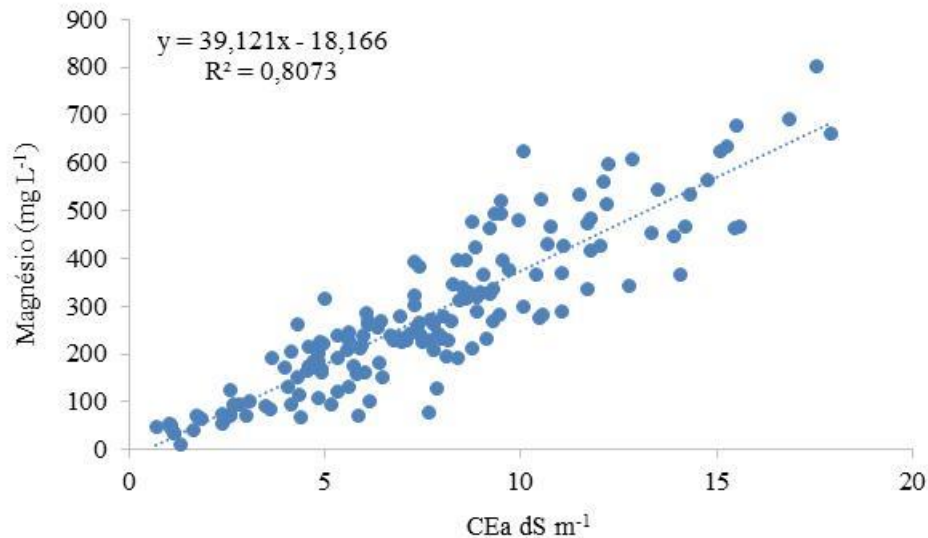


Figura 20. Correlação dos valores de magnésio x condutividade elétrica da água

Rocha (2008) encontrou resultados semelhantes em poços tubulares da bacia do Rio do Peixe, na Bahia cuja condutividade elétrica apresenta maior coeficiente de correlação positiva com Sódio seguido de magnésio e cálcio. Destarte, a água desse estudo possui, teoricamente, predominância nos sais cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio (CaCl₂) e cloreto de magnésio (MgCl₂).

O sódio tem uma tendência linear com a CEa, possuindo um coeficiente de 0,94 com forte correlação com a condutividade elétrica da água, mesmo havendo um ajustamento melhor da reta (Figura 21).

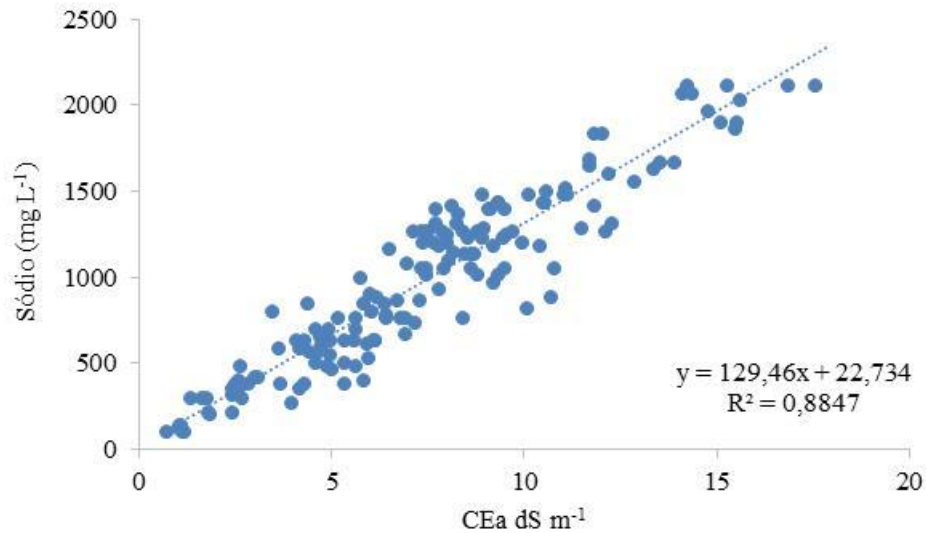


Figura 21. Correlação dos valores de sódio x condutividade elétrica da água

Em relação ao cátion potássio há uma tendência linear até 5 dS m⁻¹, com a condutividade elétrica depois deste valor há uma não linearidade, possuindo um coeficiente de correlação de 0,46; correlação fraca positiva com a condutividade elétrica (Figura 22). Mediante o processo de permuta de base, os diversos cátions adsorvidos pelos coloides do solo ficam sujeitos ao deslocamento quando em contato com outros cátions e/ou íons hidrogênicos (BRADY, 1989). Para Rocha (2008), com relação ao íon potássio a argila tende a fixá-lo irreversivelmente, explicando os baixos teores do íon potássio em águas subterrâneas e a não correlação com a condutividade elétrica para água de estudo.

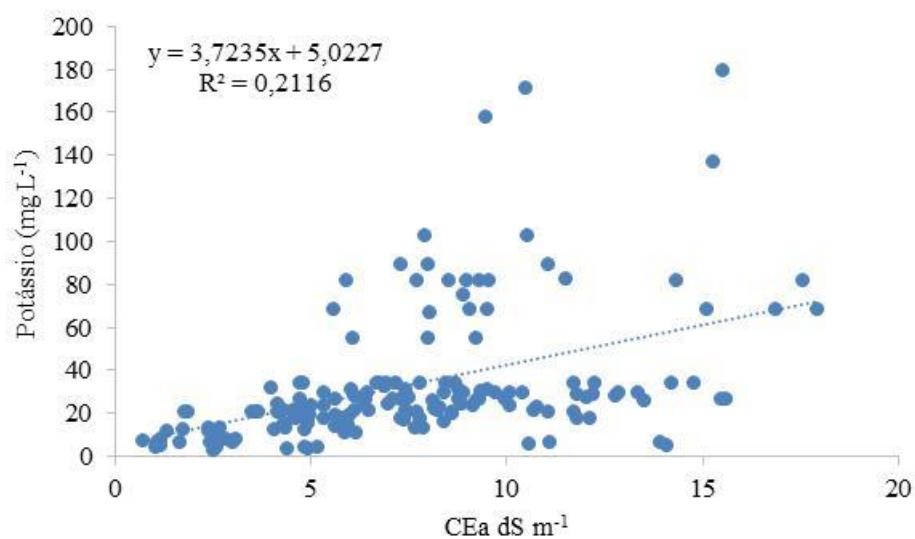


Figura 22. Correlação dos valores de potássio x condutividade elétrica da água

Para o carbonato sua correlação com a condutividade elétrica da água foi fraca positiva (Figura 23).

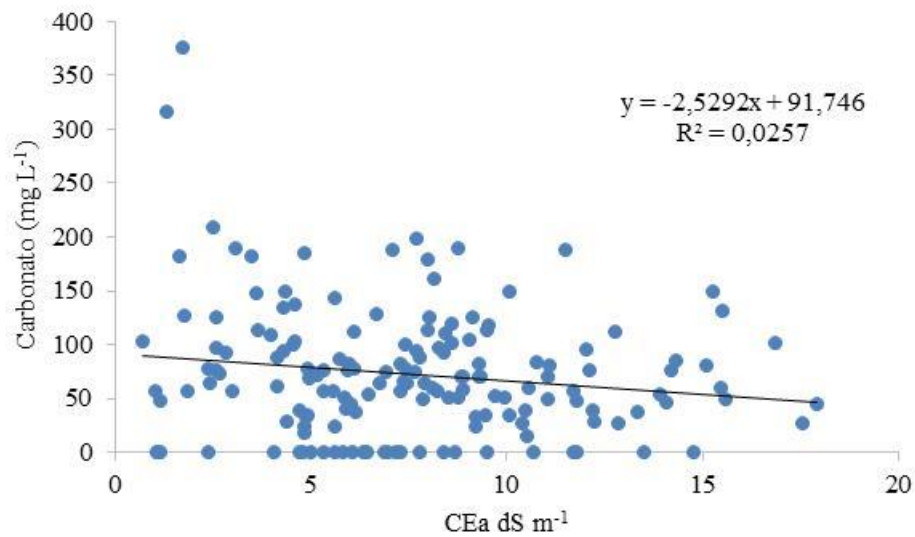


Figura 23. Correlação dos valores de carbonato x condutividade elétrica da água

A salinidade das águas da região do cristalino não está associada às variações nas concentrações do bicarbonato, pois sua correlação com a condutividade elétrica da água foi ínfima (Figura 24).

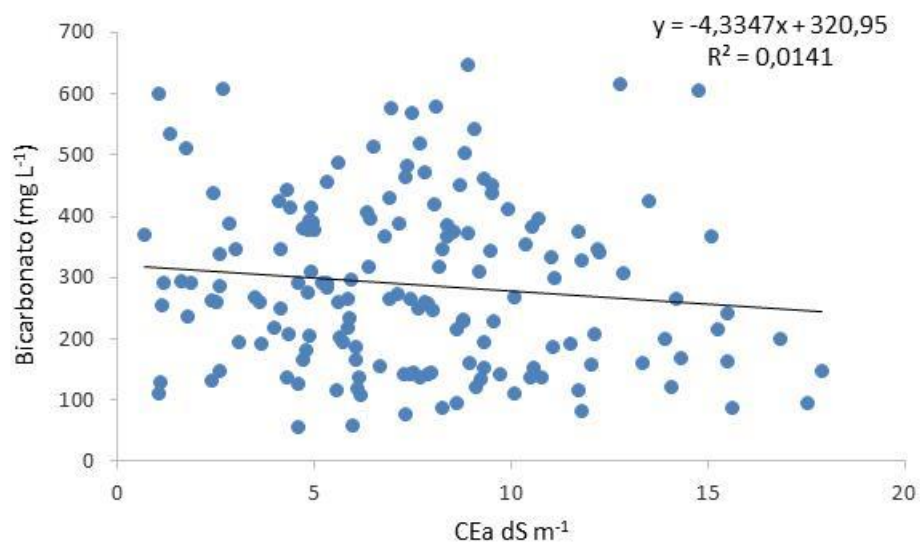


Figura 24. Correlação dos valores de bicarbonato x condutividade elétrica da água

Santos et al. (1984) verificaram, trabalhando com águas subterrâneas do cristalino do Rio Grande do Norte, que com o aumento da condutividade elétrica o sódio, o cálcio e o magnésio, crescem paralelamente enquanto bicarbonatos caem muito rapidamente.

Há uma tendência linear do cloreto com a condutividade elétrica, possuindo um coeficiente de correlação de 0,98, ou seja, forte correlação com a condutividade elétrica da água (Figura 25). Os coeficientes de determinação e correlação ficaram acima 0,9 em todas as análises, permitindo concluir que mais de 90% da variância da concentração deste íon podem ser explicados pela variação da CEa, ou seja, houve bom ajustamento das análises do cátion à reta de regressão linear, propiciando o desenvolvimento de equação confiável para determinação deste íon a partir do valor de condutividade elétrica (CEa).

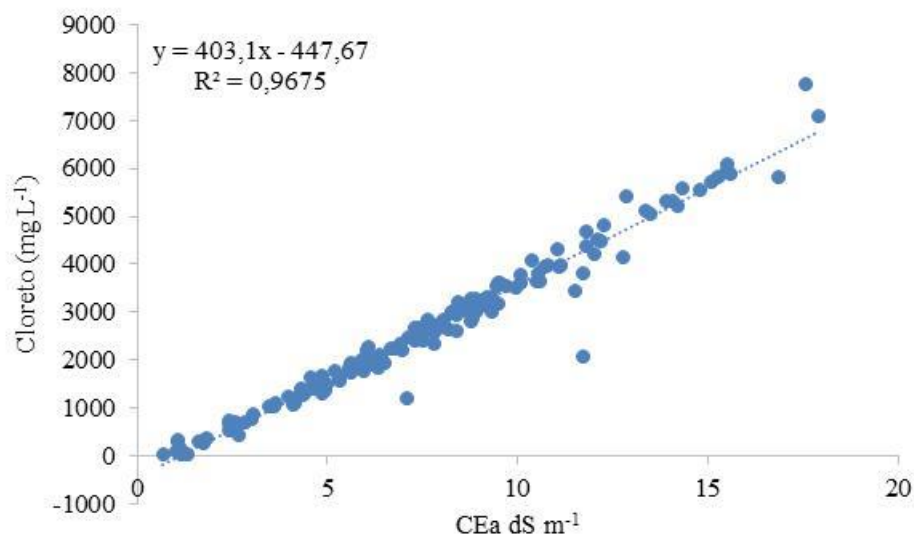


Figura 25. Relação do cloreto com a condutividade elétrica da água

Filho et al. (2004) também encontraram forte correlação entre a concentração de cloretos e a condutividade elétrica nas amostras de água de poços e superfícies para o norte do Ceará. Resultados semelhantes foram encontrados por Maia et al. (2012) em municípios do nordeste brasileiro.

Com os dados do sulfato obteve-se uma correlação ínfima positiva com a condutividade elétrica da água (Figura 26).

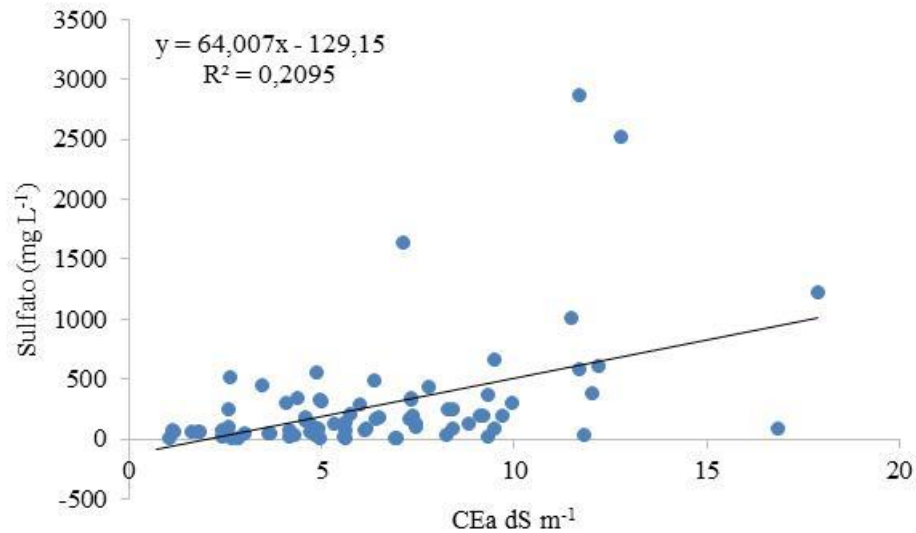


Figura 26. Relação do sulfato com a condutividade elétrica da água.

Na Tabela 13 podem ser verificadas individualmente, as equações para determinação de cada um dos sais a partir do valor da condutividade elétrica da fonte. A Equação foi determinada pela linha de tendência linear dos gráficos, observando-se o coeficiente de determinação e o coeficiente de correlação de todos os sais, de modo a alcançar o melhor ajustamento das amostras à reta de regressão linear.

Tabela 13. Equações empíricas, coeficiente de determinação e coeficiente de correlação entre condutividade elétrica (CE) e os principais sais constituintes das águas subterrâneas

Resultados das Fontes Subterrâneas			
Sais	Equações das fontes Subterrâneas	Coefficiente de Determinação (R ²)	Coefficiente de correlação (r)
Cálcio	$Ca^{2+} = 26,07 CE + 6,7276$	0,3747	0,6121
Magnésio	$Mg^{2+} = 39,121 CE - 18,166$	0,8073	0,8985
Sódio	$Na^+ = 129,46CE + 22,734$	0,8847	0,9406
Potássio	$K^+ = 3,7235 CE + 5,0227$	0,2116	0,46
Cloreto	$Cl^- = 403,1 CE - 447,67$	0,9675	0,9836
pH	$pH = -0,0084CE + 7,8248$	0,0016	0,04
Carbonato	$CO_3^{2-} = -2,5292CE + 91,746$	0,0257	0,1603
Bicarbonato	$HCO_3^- = -4,3347CE + 320,95$	0,0141	0,1187
Sulfato	$SO_4^{2-} = 64,007CE - 129,15$	0,2095	0,4578

5.7. MATRIZ DE CORRELAÇÃO 1

Na primeira coleta foi construída uma matriz de correlação no programa Excel, com as 86 amostras de água no município.

Tabela 14. Matriz de correlação dos parâmetros físico-químicos analisados

	Cea	pH	Ca	Mg	Na	K	CO3	HCO3	Cl	Dureza	Alcalinidade	STD
Cea	1											
pH	-0,05815	1										
Ca	0,629796	-0,37566	1									
Mg	0,902304	-0,11127	0,583137	1								
Na	0,899555	0,095594	0,362758	0,736709	1							
K	0,065977	-0,06545	-0,02654	0,043877	-0,05053	1						
CO3	-0,0897	0,437378	-0,29816	-0,08927	0,009294	0,006937	1					
HCO3	-0,13565	-0,30015	-0,06308	-0,12958	-0,05796	0,1524	0,05837	1				
Cl	0,976005	-0,04014	0,622474	0,909219	0,855187	0,064222	0,09259	-0,1928	1			
Dureza	0,891264	-0,23583	0,826574	0,939233	0,663695	0,019182	0,18784	0,11643	0,892961	1		
Alcalinidade	0,991664	-0,10994	0,699916	0,933153	0,852832	0,054169	0,11961	0,13325	0,974428	0,942267	1	
STD	1	-0,05815	0,629796	0,902304	0,899555	0,065977	-0,0897	0,13565	0,976005	0,891264	0,991664	1

Constatou-se uma forte e positiva correlação da condutividade elétrica com os parâmetros que aumentam a carga iônica (Na^+) (0,899555), alcalinidade (0,991664), cloreto (0,976005) e dureza (0,891264). Essas correlações são perfeitamente previstas já que a condutividade elétrica é um parâmetro diretamente relacionado com a presença de íons dissolvidos na água (MANASSÉS, 2009). Baseado nos valores dessas correlações é possível dizer que as amostras das águas subterrâneas analisadas apresentam concentração de sais de cloreto maior que de sais de sódio e potássio.

Encontrou-se alta correlação dos STD com cloreto (0,939158), condutividade elétrica (0,976005) e (Na^+) (0,994785) e alcalinidade.

Devido aos STD caracterizarem o total de constituintes minerais presentes na água, fica evidente sua correlação com os íons dos metais, com o cloreto e a condutividade elétrica; nesta última, a ligação é tão evidente que, segundo Feitosa et al. (2008), na maioria das águas subterrâneas naturais a condutividade elétrica da água multiplicada por um fator, que varia de 0,55 e 0,75, gera boa estimativa dos STD.

Verificou-se forte correlação do cloreto com a dureza (0,852961), indicando que a dureza das águas subterrâneas analisadas é permanente. A dureza pode ser expressa como

dureza temporária, dureza permanente e dureza total. Na dureza permanente o Ca^{+2} e Mg^{+2} se encontram ligados a sulfato, cloretos, nitratos e outros, dando origem a compostos solúveis; já a dureza temporária ou de carbonatos é devida aos íons de cálcio e de magnésio que, sob aquecimento, se combinam com íons bicarbonato e carbonato, podendo ser eliminada por fervura.

Analisando as correlações dos ânions com a condutividade elétrica, observa-se que o íon cloreto predomina em relação aos demais, em virtude da hidroquímica da região estudada (IBGE, 2013).

Entre os íons potássio, sódio e cloreto, o cloreto possui o maior índice de correlação com a CE (0,98), demonstrando sua importância no processo de salinização e ratificando a maior solubilidade desse íon em relação aos demais. Quando presente como íon predominante, o cloreto proporciona a característica salobra à água (STD entre 500 e 30.000 mg L^{-1}). De fato, do total de 86 amostras (98,84%) possuem STD acima de 500 mg L^{-1} , Cloreto e o cálcio têm correlação moderada positiva; outro aspecto importante é que o ânion cloreto é muito solúvel em relação aos demais permitindo uma concentração maior nas águas de maior salinidade.

Através dos 76 dados da segunda coleta de água foi elaborada uma matriz de correlação. A análise de correlação entre os parâmetros físicos - químicos foi elaborada com base no coeficiente de Pearson como índice de similaridade, verificando o grau de relacionamento entre as variáveis, através da matriz de correlação para os parâmetros físico-químicos estudados das amostras de águas subterrâneas na região de Boa Vista (Tabela 14). Para a análise da matriz foram consideradas correlações $\geq 0,7$.

Existe uma forte positiva correlação entre o pH e a condutividade elétrica. Cálcio e a condutividade elétrica uma correlação moderada positiva. Verificou-se uma boa correlação do cloreto com a dureza (0,909231), indicando que a dureza das águas subterrâneas analisadas é permanente. Cloreto com o sódio (0,860135) relação forte positiva. Em geral, o cloreto, está associado ao sódio que é muito solúvel e muito estável em solução.

5.8. MATRIZ DE CORRELAÇÃO 2

Tabela 15. Matriz de correlação dos parâmetros físico-químicos analisados

	CEa	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	Dureza	Alcalinidade	STD
CEa	1										
pH	0,972438										
Ca	0,137841	1									
Mg	0,191729	0,464394	1								
Na	0,325366	0,472637	0,70184	1							
K	-0,01893	0,028393	0,465648	0,378942	1						
CO ₃	0,437219	-0,29628	-0,09702	0,058786	-0,03772	1					
HCO ₃	-0,33034	-0,20079	0,000291	-0,09415	0,108981	-0,25096	1				
Cl	0,194988	0,604389	0,893677	0,860135	0,443823	-0,08391	-0,07237	1			
Dureza	0,198491	0,759801	0,928644	0,713212	0,353734	-0,19533	-0,08389	0,909231	1		
Alcalinidade	-0,05735	-0,37108	-0,05776	-0,05572	0,082642	0,355959	0,815263	-0,12007	-0,19784	1	
STD	1	0,137841	0,191729	0,325366	-0,01893	0,437219	-0,33034	0,194988	0,198491	-0,05735	1

5.9. ANÁLISE DA INCRUSTAÇÃO E CORROSÃO

De posse dos resultados analíticos físico-químicos, foram aplicadas as fórmulas dos Índices de Langelier (LSI) e Ryznar (RSI), verificando qual a tendência de comportamento da água subterrânea de Boa Vista – PB, frente ao caráter de corrosão ou incrustação. Pelos resultados obtidos na 1ª coleta 8,14% têm incrustação suave, 5,81% das águas têm características de incrustação muito suave, 0% incrustação moderada, 51,16% balanceado, 34,88 corrosão suave para o índice de LSI; já para o índice de RSI, resultou que em 100% das águas têm características de incrustação severa, 0% dos poços com incrustação forte, 0% incrustação leve, 8,14% balanceado, 16,28% corrosão severa e 6,98% corrosão moderada e 68,60% corrosão forte e 30,23% das amostras com tendência a precipitação do carbonato de cálcio.

Na 2ª coleta o índice de incrustação suave foi de 22,37%, incrustação muito suave 22,37%, corrosão moderada 20,37%, balanceado 42,11% e corrosão suave 13,16% das amostras analisadas. Segundo o índice de Ryznar 1,32% incrustação severa, 0% incrustação forte, 11,84% incrustação leve, 32,89% balanceada, 15,79% corrosão moderada e 38,16% corrosão forte. Os valores registrados de Índice de Langelier (ISL) positivos corroboram com o risco de precipitação de íons carbonato na forma de CaCO_3 , o que deve ser observado principalmente para a água proveniente das regiões com predomínio de mananciais influenciados pelo calcário, onde mais de 63,16% da água analisada apresentam valores de ISL positivos (Figuras 27 e 28).

Comparando os dois resultados, observa-se que o Índice de Langelier é o mais representativo. Para Cavazzana et al. (2012) os Índices de Saturação de Langelier (LSI) e de Estabilidade de Ryznar (RSI), com rotina simples de análise laboratorial, quando distribuídos espacialmente podem ser usados como ferramenta de baixo custo na gestão dos sistemas de abastecimento de água, com captação por meio de poços tubulares. Embora os valores desses parâmetros não constem das normas brasileiras de potabilidade e qualidade das águas subterrâneas, a capacidade de corrosão e incrustação da água explotada pode levar às perdas de investimento, como a diminuição da vazão devido às incrustações ou até mesmo a inutilização de poços (rompimento de filtros, da tubulação do edutor, até a queda do equipamento de bombeamento no poço).



Figura 27. Corrosão na torre do cata-vento



Figura 28. Tombamento do cata-vento ao fundo, pela corrosão

5.10. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO EM RELAÇÃO AOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

5.10.1. Condutividade elétrica da água (CEa)

A CEa das amostras de água variou de 0,69 a 17,904 dS m⁻¹, com média 7,2624 e mediana de 7,190 com desvio padrão de 3734,5 (1ª coleta), mínimo de 1143,0 a 17,904 dS m⁻¹, com média 7,8415 e mediana de 7,5705 com desvio padrão de 3834,4 (2ª coleta). Os valores de condutividade elétrica foram bastante elevados, indicando maior tempo de residência dessas águas e, em contrapartida, maior tendência à salinização. Essa característica é atribuída à forma como a água percola pela rocha, de forma descontínua e de circulação lenta, acarretando maior interação entre água-rocha presente em aquíferos cristalinos (ROCHA, 2008).

São águas, em sua maioria salgadas, sendo preocupante a retirada dessas águas subterrâneas sem qualquer critério; as quais, são espalhadas na superfície do solo e na dieta dos animais, aumentando os níveis de sais na superfície, esses sais se cristalizam no momento em que as chuvas ocorrerem, serão carregados para os mananciais e a tendência é que as águas superficiais fiquem cada vez mais salgadas. As águas desses poços tubulares são muitas vezes, mal conduzidas, extravasando nas caixas d'água (Figuras 29 e 30), de alguma forma somadas contabilmente, esses sais dentro da bacia, local já sofrido de águas salobras superficiais constatadas em pesquisa anterior nos anos de 2013 e 2014, podendo concentrar

mais sais nos açudes e tendo como destino próximo e preocupante, o açude Epitácio Pessoa (Boqueirão).



Figura 29. Água extravasando da caixa d'água.



Figura 30. Água sendo desperdiçada do bebedouro animal.

No período de pesquisa os valores de CEa das águas provenientes dos diversos poços tubulares se mantiveram altos, o que é confirmado por estudos hidroquímicos dos mananciais subterrâneos na região nordeste (IBGE, 2013); a região tem, de má qualidade, a não potável em mapa da região, sendo importante encontrar, através de tal estudo, fontes isoladas que podem oferecer alguma diferença do que é genericamente já constatado em estudos anteriores. A origem mineral da rocha e um regime baixo de chuvas contribuem sobremaneira para permanecer valores altos e impossíveis de uso para o consumo humano.

A variação dos teores de sais nos poços tubulares é percebida como pequena já que são reabastecidos pela infiltração da água de chuva no solo e fraturas, desde 2012 até 2015 conforme AESA (2016), expõe os dados pluviométricos, a média de precipitação nesses últimos quatro anos representou em torno de 213,6 mm, isto é, sem chuvas expressivas anuais a variação dos sais encontrados nos poços tubulares nas duas etapas foi pequena.

Segundo Molle e Cadier (1992), a concentração de sais em água é perceptível ao paladar quando a CEa atinge valores acima de $0,8 \text{ dS m}^{-1}$. Levando em consideração este valor e os resultados de CE das amostras de água de Boa Vista - PB, pode-se dizer que 98,68% teriam sabor salgado, o que seria desagradável para o ser humano. Sawyer e McCarty

(1987) afirmam que muitas populações ao redor do mundo consomem água com CE superior a $0,8 \text{ dS m}^{-1}$, sem apresentar danos à saúde.

5.10.2. Sólidos Dissolvidos Totais

O CONAMA estabelece, em sua Resolução nº 357 de 2005, como padrão de potabilidade, valores máximos permitidos para sólidos dissolvidos totais (SDT) águas consideradas doces de 0 a 500 mg L^{-1} , de 501 a 1.500 mg L^{-1} água salobra e acima de 1.500 mg L^{-1} a água é classificada como salina.

Os valores de SDT variaram de 448,5 a $11407,5 \text{ mg L}^{-1}$, com média de $4720,54 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $4673,5 \text{ mg L}^{-1}$. Observamos as concentrações de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na sua minoria 1,16% (1ª coleta) e 0% (2ª coleta) variando até 500 mg L^{-1} , classificando-as como águas doces, com percentuais menores de águas salobras 8,14% (1 coleta) e 3,95% (2 coleta) que variam o STD de 500 a 1.500 mg L^{-1} em sua maioria de águas salgadas 90,70% (1 coleta) e 96,05% (2 coleta) que possuem STD superiores a 1.500 mg L^{-1} . O cloreto é o principal responsável pelo caráter salobro das águas.

Os STD representam a concentração de todo o material dissolvido na água, seja ele de natureza iônica ou coloidal. O teor de sais dissolvidos exclusivamente sob a forma de íons foi avaliado usando leituras da Condutividade Elétrica (CEa). Conforme a Portaria nº 2914 de 2011 do Ministério da Saúde, que estabelece os padrões de potabilidade da água para consumo humano no valor máximo permitido de 1000 mg L^{-1} de sólidos dissolvidos totais, o que representa 5,81% (1ª coleta) e 2,63% (2ª coleta) das amostras analisadas estão dentro do padrão.

5.10.3. Potencial Hidrogenionico (pH)

Os valores de pH das fontes de água em estudo oscilaram de 6,07 a 10,07 (1ª coleta) e 6,6 a 9,0 (2ª coleta). As águas coletadas nos poços tubulares apresentaram valores de pH médio de 8,7 e mediana de 7,6, ou seja, pH alcalino. De modo geral, as águas de baixo pH tendem a ser corrosivas ou agressivas a certos metais, paredes de concreto e superfícies de

cimento-amianto enquanto que águas de alto pH formam incrustação nas tubulações (CAJAZEIRAS, 2007).

De acordo com Casali (2008), a variação nos valores de pH é justificado pelo material químico presente nas águas, que estão diretamente influenciadas pela formação geológica dos aquíferos, que armazena a água, pelo alto nível de contaminação da água por efluentes domésticos e industriais e na forma de captação e armazenamento de água em que será utilizada.

De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/05 e com a Portaria 2914/11 do MS, que considera os valores de pH de água de 6,0 a 9,5 como sendo normais para o consumo humano, pode-se dizer que as águas coletadas em 4,65% (1ª coleta) e 0% (2ª coleta) apresentaram pH fora do adequado para o consumo humano. Dos 78 poços tubulares analisados no município de Lajeado, RS, 5,13% dos poços estão fora do valor máximo permitido pela portaria 2914 de 2011 (ECKHARDT et al., 2009)

De acordo com Santos (1997), o pH das águas subterrâneas varia geralmente entre 5,5 e 8,5 e, em casos excepcionais, pode variar entre 3 e 11.

5.10.4. Alcalinidade Total

A alcalinidade total das amostras de água variou de a 112,24 a 1265,04 mg L⁻¹, com média de 389,37 mg L⁻¹ e mediana de 395,44 mg L⁻¹ (1ª coleta) e 155,72 a 681,37 mg L⁻¹, com média de 348,1 mg L⁻¹ e mediana de 344,6 mg L⁻¹ com desvio padrão de 111,6 e coeficiente de variação de 32,1% (2ª coleta).

Considerando que o valor máximo permitido (VMP) da alcalinidade total em águas para consumo humano recomendada pela OMS (1999) é de 400 mg L⁻¹, em toda a pesquisa 52,33% (1ª coleta) e 73,68% (2ª coleta) das águas analisadas possuíram valores de alcalinidade total dentro dos padrões normais, o que difere de Franca et al. (2006), que ao analisar a qualidade de água dos poços e mananciais superficiais em Juazeiro do Norte - CE, em dois períodos distintos do ano (seco e chuvoso), comprovou que em 100% das amostras de água analisadas os valores de alcalinidade total ficaram dentro do padrão de potabilidade para consumo humano.

As águas altamente alcalinas possuem sabor desagradáveis ao paladar e têm encontrado resistência por parte dos consumidores. A variação da alcalinidade das águas

subterrâneas, está entre 100 e 300 mg CaCO₃ L⁻¹, e em casos mais graves podem atingir 1000mg CaCO₃/L (CUSTODIO e LLAMAS, 1983).

5.10.5. Dureza Total

Os valores de dureza para as águas subterrâneas estão, geralmente, situados entre 10 e 300 mg CaCO₃ L⁻¹, podendo atingir 1000 mg CaCO₃ L⁻¹ e, em casos excepcionais, 2000 mgCaCO₃/L. De acordo com o que estabelece a Portaria nº 2914, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), em relação aos valores limites da dureza na água utilizada para consumo humano (500 mg L⁻¹), pode-se dizer que 10,47% (primeira coleta) e 60,53% (segunda coleta) das amostras de água coletadas são considerados próprios para o consumo, de acordo com a legislação brasileira vigente.

Visto que a dureza total das amostras de água variou de 65 a 4658,5 mg L⁻¹, com média de 1567,14 mg L⁻¹, mediana de 1416,0 mg L⁻¹ (primeira coleta) e 73 a 1173,84 mg L⁻¹, com média de 508,9 mg L⁻¹, mediana de 436,9 mg L⁻¹; 289,7 de desvio padrão e 56,9 de coeficiente de variação (segunda coleta). Águas com elevados níveis de dureza dificultam a formação de espuma, o que implica em um maior consumo de sabões e xampus, além de provocar incrustações nas tubulações de água quente, caldeiras e aquecedores, devido à precipitação dos cátions em altas temperaturas. Existem evidências de que a ingestão de águas duras contribui para uma menor incidência de doenças cardiovasculares. Em corpos d'água de reduzida dureza, a biota é mais sensível à presença de substâncias tóxicas, já que a toxicidade é inversamente proporcional ao grau de dureza da água. Para águas utilizadas para consumo humano, o padrão de potabilidade estabelece o limite de 500 mg L⁻¹ CaCO₃. Valores desta magnitude usualmente não são encontrados em águas superficiais no Brasil, podendo ocorrer, em menor concentração, em aquíferos subterrâneos (FUNASA, 2014).

De acordo com as águas dos poços tubulares analisadas 89,53% (1ª coleta) 93,42% (2ª coleta) apresentaram valores de dureza total acima do recomendado pela Portaria 2914. A classificação das águas subterrâneas da área de estudo com base na dureza foi realizada segundo os critérios de Sawyer e McCarthy (1987).

Segundo Sawyer e McCarty (1987), a classificação de águas, de acordo com seus valores de dureza na primeira parte das análises coletadas foi de 1,16% como moderadamente duras (75 -150 mg L⁻¹), 3,49% classificadas como duras (150 - 300 mg L⁻¹) e 95,35 % foram

classificadas como muito duras ($> 300 \text{ mg L}^{-1}$). Valores acima de $300 \text{ mg L}^{-1} \text{ CaCO}_3$, são considerado alto para o consumo da população (NAKAYAMA e BUCKS, 1986).

Confirmando o que foi encontrado na região de Irauçuba, nordeste do Estado do Ceará, onde o valor médio da dureza dos poços no cristalino é de 1.094 mg L^{-1} de CaCO_3 , que caracteriza águas muito duras (VERÍSSIMO e FEITOSA, 2002).

Medeiros et al. (2003), analisando 45 amostras de água, coletadas no período seco, nos municípios de Mossoró, Baraúna e circunvizinhos, no Estado do Rio Grande do Norte, constataram que em sua maioria são águas duras ($150 - 300 \text{ mg L}^{-1}$).

5.10.6. Cátions (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ e K^+)

Nas águas coletadas dos poços tubulares foram encontradas, respectivamente, as seguintes concentrações dos cátions: cálcio (Ca^{++}) 6,8 e $632,2 \text{ mg L}^{-1}$ com média de $194,59 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $141,6 \text{ mg L}^{-1}$ (primeira coleta) e com mínimo de 26 e máximo de 711 mg L^{-1} com média de $212,8 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $159,0 \text{ mg L}^{-1}$, 165,0 de desvio padrão e 77,5 de coeficiente de variação (segunda coleta). Nas águas subterrâneas, os teores de Cálcio variam entre 10 e 100 mg L^{-1} (OBIEFUNA e SHERIFF, 2011).

O cálcio é um dos elementos que contribuem para dureza da água e é considerado um dos cátions mais comuns e abundantes na maioria das águas.

A concentração do sódio nas águas subterrâneas varia entre 0,1 e 100 mg L^{-1} o que difere das amostras analisadas. Nas águas estudadas, as concentrações de Sódio (Na^+) 101,2 e $3385,14 \text{ mg L}^{-1}$ com média $1013,34 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de 920 mg L^{-1} (1ª coleta) e mínimo de 101,2 e $3385,14 \text{ mg L}^{-1}$ com média $985,0 \text{ mg L}^{-1}$ e mediana de $1036,4 \text{ mg L}^{-1}$, 555,7 de desvio padrão e 56,4 de coeficiente de variação (2 coleta) estando portanto 4,65 % (1 coleta) e 2,63% (2ª coleta) das amostras fora do padrão de potabilidade estabelecido pela legislação vigente (BRASIL, 2011).

O íon Na^+ é o que predomina entre os cátions presentes nas águas analisadas, provenientes das fontes de poços tubulares. Teores excessivos podem afetar o sistema nervoso central e agravar a hipertensão arterial, além de afetar as características organolépticas da água. O sódio é um elemento químico bastante presente em águas subterrâneas. Seus principais precursores são pouco resistentes a processos intempéricos e os sais formados, bastante solúveis. Nas águas subterrâneas, o teor de sódio varia normalmente de 0,1 a 10

mg L⁻¹, sendo que há um enriquecimento gradativo deste íon a partir das zonas de recarga (ALVES, 2007).

O íon sódio se desloca no ambiente, está presente em todas as águas, sendo o principal elemento responsável pelo aumento constante da concentração de sais das águas naturais do ponto de vista catiônico, seu aumento gradativo nas águas subterrâneas, se dá a partir da zona de recarga, em direção às suas porções mais confinadas (PERCEBON e BITTENCOURT, 2009).

A concentração média do íon potássio (K⁺) 3,9 e 2152,02 mg L⁻¹ com média 56,87 mg L⁻¹ e mediana 24,57 mg L⁻¹ (1ª coleta) e 3,1 e 179,4 mg L⁻¹ com média 34,2 mg L⁻¹ e mediana 25,7 mg L⁻¹, 32,0 de desvio padrão e 93,5% de coeficiente de variação (2ª coleta). Os baixos valores de potássio são explicados devido a sua participação intensa em processos de troca iônica e é um dos constituintes dos fertilizantes agrícolas.

Em geral, os teores de K⁺ nas águas subterrâneas são inferiores a 10,0 mg L⁻¹, sendo mais frequentes valores entre 1,0 e 5,0 mg L⁻¹ (FEITOSA e MANOEL, 2000; OBIEFUNA e SHERIFF, 2011) o que nesta avaliação, constatamos que seus índices ficaram bem abaixo do limite para 36,05% (primeira etapa) das amostras estão dentro dos valores de potabilidade para consumo humano. Na segunda etapa desta avaliação, constatamos que os índices de potássio ficaram bem abaixo do valor permitido para 31,58% das amostras.

O Magnésio possui propriedades similares às do Ca⁺⁺, porém é mais solúvel e mais difícil de precipitar. As águas subterrâneas apresentam valores de Magnésio no intervalo de 1 a 40 mg L⁻¹ (OBIEFUNA e SHERIFF, 2011) o que difere bastante dos valores encontrados no presente estudo, as amostras apresentaram valores do magnésio (Mg⁺⁺) = 11,52 e 803,04 mg L⁻¹ com média de 259,36 mg L⁻¹ e mediana de 237,12 mg L⁻¹ (1ª coleta) e 33 e 691,4 mg L⁻¹ com média de 296,1 mg L⁻¹ e mediana de 264,3 mg L⁻¹, 173,5 de desvio padrão e 58,6 de coeficiente de variação (2ª coleta) demonstrando que estão bem acima dos valores permitidos para água subterrânea com finalidade de potabilidade. Das 86 amostras de águas analisadas 24,42% estão dentro do padrão de potabilidade para consumo humano quanto ao parâmetro magnésio.

Conforme os limites estabelecidos pela OMS (1999) em relação aos valores máximos permissíveis dos cátions (Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ e K⁺), presentes nas águas utilizadas para consumo humano, pode-se dizer que em relação a estes elementos, as águas coletadas no primeiro período 65,11%, 24,42% e 36,05% dentro dos padrões permitidos.

5.10.7. Ânions (Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^-)

Nas águas de Boa Vista foram encontradas, respectivamente, as seguintes concentrações dos ânions: as concentrações de carbonato (CO_3^{2-}) variaram de 0 a 1104,0 mg L^{-1} com média de 80,23 mg L^{-1} e mediana de 57,6 mg L^{-1} (1ª coleta) . Na segunda coleta variaram de 0 a 496,8 mg L^{-1} com média de 83,4 mg L^{-1} e mediana de 75,6 mg L^{-1} . A Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece limite máximo permissível para esse elemento.

Os teores de cloreto variaram de 35,5 mg L^{-1} a 7768,11 mg L^{-1} com média de 2437,29 mg L^{-1} e mediana 2258,16 mg L^{-1} no primeiro período na região do município. No segundo período de coleta variaram de 146,3 mg L^{-1} a 7091,1 mg L^{-1} com média de 2770,1 mg L^{-1} e mediana 2637,1 mg L^{-1} .

Na avaliação geral da região apresentou 96,51% dos valores obtidos nas análises os níveis de cloreto muito acima do permissível, dado este que difere do encontrado por Franca et al. (2006) em poços de Juazeiro do Norte (CE), município localizado na região Sul do Estado do Ceará, e que apresentaram em seus resultados o parâmetro cloreto dentro do permitido pela legislação (250 mg L^{-1} de Cl^-) em todas análises realizadas no referido estudo.

Altos valores de cloreto sem interferência de fatores geológicos pode significar contaminação por efluentes domésticos ou industriais (POHLING, 2009). Mas o que observamos segundo o IBGE (2013) foi à presença de águas cloretadas-sódicas, o que explica os altos valores de cloreto presentes nas águas dos poços tubulares. Valores acima do permitido para o cloreto confere sabor desagradável à água e efeitos laxativos em quem está acostumado a consumir água com baixas concentrações (BATALHA e PARLATORE, 1993).

Nessas águas como nas demais, provenientes das outras fontes, o íon Cl^- é o que predomina, tanto na primeira como na segunda etapa.

De acordo com o que estabelece a Resolução nº 357 (BRASIL, 2005) e a Portaria nº 2914 (BRASIL, 2011), em relação aos valores limites do ânion (Cl^-) presentes nas águas utilizadas para consumo humano, pode-se dizer que em relação ao cloreto, 96,51 % apresentaram acima dos limites estabelecidos por estas normativas.

Silva e Araújo (2003), avaliando a qualidade das águas dos mananciais subterrâneos de Feira de Santana (BA), encontraram em 12,5% das amostras analisadas teores de cloreto fora do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria n. 2914. Os cloretos não são nocivos ao homem, apenas conferem gosto salgado à água quando em concentrações em torno de 250

mg L⁻¹, o que a faz ser rejeitada pelo consumidor (SAWYER; McCARTY, 1987). No entanto, em altas concentrações podem ser prejudiciais ao homem quando associados a altos valores de cátions como cálcio, magnésio, sódio ou potássio.

A precipitação entre os dois períodos coletados da pesquisa não passou de 10 mm de chuvas (AESAs, 2015), o que podemos analisar que alguns poços passaram a ser mais bombeados, mesmo com teor salino, principalmente quando energizado, o que produziu em algumas situações maior ou menor concentração de sais, o que depende da rocha que serve de depósito e armazenamento da água subterrânea do local.

A variação de bicarbonato encontrada foi de 59,17 e 648,43 mg L⁻¹ com média de 309,14 mg L⁻¹ e mediana de 301,64 mg L⁻¹ (1ª coleta) e na segunda coleta foi de 56,1 e 608,2 mg L⁻¹ com média de 264,7 mg L⁻¹ e mediana de 258,6 mg L⁻¹. A quantidade de bicarbonato na água subterrânea varia de 50 e 350 mg L⁻¹ em águas doces, podendo atingir 800 mg L⁻¹ (FEITOSA e MANOEL, 2000; OBIEFUNA e SHERIFF, 2011). A Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde não estabelece valor máximo permissível para esse elemento.

5.11. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA CONSUMO ANIMAL

Os parâmetros químicos e físicos que definem os limites de qualidade da água para o consumo animal, são muito variados, dentre eles podemos destacar o pH, a condutividade elétrica da água, magnésio, sódio, cloreto, potássio e cálcio. No que se refere à qualidade da água, no sentido em que o grupo de caprinos e ovinos tem a capacidade de suportar as águas mais salinizadas que os bovinos e estes em relação aos equinos e suínos enquanto as aves podem apresentar um índice bem menor de tolerância à salinidade, pois são animais muito mais sensíveis.

Analisando a Figura 31, um total de 5,81% (1ª coleta) e 2,63% (2ª coleta) das amostras estão com a condutividade elétrica da água abaixo de 1500 uS/m que são água de excelente qualidade, adequada para todas as classes sem nenhum risco para qualquer animal; 25,58% (1ª coleta) e 23,68% (2ª coleta) estão com a condutividade elétrica da água entre 1500 e 5000 uS/m são águas com qualidade muito satisfatória que podem provocar diarreia em gado não acostumado e excrementos aquosos nas aves, 29,07% (1ª coleta) e 27,63% (2ª coleta) estão com a condutividade elétrica da água entre 5000 e 8000 uS/m satisfatória para o gado e não satisfatória para as aves; essas águas podem produzir diarreia temporária ou não ter

aceitabilidade por animais não acostumados e aumento de mortalidade reduzindo o crescimento, principalmente em perus.

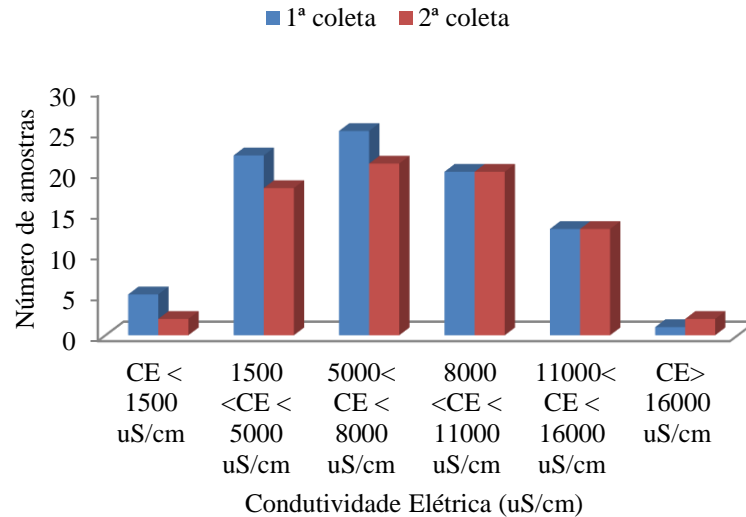


Figura 31. Condutividade elétrica da água para animais

Foi verificado que 23,26% (1ª coleta) e 26,32% (2ª coleta) das amostras de água, apresentam condutividade elétrica entre 8000 e 11000 uS/m, dessa forma, sendo considerada de uso limitado para o gado. Essas águas não são adequadas para o consumo de aves, principalmente as fêmeas prenhas e em lactação; portanto, não é adequada para as aves domésticas, 15,12% (1ª coleta) e 17,11% (2ª coleta) das amostras de água estão com a condutividade elétrica entre 11000 e 16000 uS/m de uso limitado provocando grandes riscos para vacas lactantes ou prenhas e animais mais velhos podem subsistir em certas condições e 1,16% (1ª coleta) e 2,63% (2ª coleta) estão com a condutividade elétrica da água acima de 16000 uS/m o que não é recomendável apresentando riscos muito grandes segundo a Academia Nacional de Ciências dos EUA (1972) apud Ayers e Westcot (1999) para classificação de água para consumo animal.

O ideal para aves é a condutividade elétrica menor que 1500 uS/m, ou seja, são animais sensíveis que não terá nenhum prejuízo se consumir esta água. Foi observado na comunidade de malhadinha (Figuras 32 e 33), que as mesmas estavam recebendo água de 5500 uS/m, bem acima do que é recomendado.



Figura 32. Galpões de criação de frango.



Figura 33. Galpões de criação de codornas.

Os caprinos e os ovinos podem recusar, em um primeiro momento, água com teores elevados de sais e, posteriormente, ingerir água com teores mais elevados, porém com riscos de causar doenças e até a morte do animal. Para que os animais se adaptem à salinidade da água a ser consumida é imprescindível que a mesma seja fornecida de forma gradativa, já que a mudança repentina pode causar maiores prejuízos à ingestão de água e alimentos e à saúde do animal, promovendo sede excessiva, dores abdominais, vômitos, diarreias e, em casos extremos, podendo levar o animal até a morte. (ARAÚJO et al., 2011).

Devido a necessidade de evitar qualquer risco de perdas econômicas, a Academia Nacional de Ciências (1972), estabeleceu que, a partir do ponto de vista da salinidade da água potável, animais que consomem águas com condutividade elétrica (CE), menor de 5 dS m^{-1} devem ser satisfeitos em quase todas as circunstâncias o que representa 31,40% das águas analisadas (1ª coleta) e 26,32% (2ª coleta).

McGregor (2004) relata que, em comparação com água potável, os caprinos podem apresentar uma aceitabilidade de água salobra com até $12,5 \text{ dS m}^{-1}$ o que representa 90,70% (1ª coleta) e 88,16% (2ª coleta) das amostras analisadas. Esses animais são capazes de adaptar-se ao consumo de água com níveis de salinidade de até $9,5 \text{ dS m}^{-1}$, mantendo a ingestão de alimentos; entretanto, níveis de salinidade superiores a esse resultam em um declínio na ingestão de alimentos 79,07% das amostras estão abaixo de $9,5 \text{ dS m}^{-1}$ (1ª coleta) e 69,74% (2ª coleta); no sítio Bravo foi observada a criação de caprinos (Figura 34) com água de $6,42 \text{ dS m}^{-1}$.



Figura 34. Caprino bebendo água de alta salinidade.

A resolução CONAMA (2005) classifica como doces as águas que apresentam salinidade igual ou inferior a 0,5 ppm, águas salobras, com salinidade superior a 0,5 ppm e inferior a 30 ppm ou águas salinas que apresentam salinidade igual ou superior a 30 ppm. Diante deste exposto podemos afirmar que 100% das amostras são de águas classificadas como salinas.

As águas com condutividade elétrica (teores de sais) variando entre 8,0 a 11,0 dS m⁻¹ (5.120 e 7.040 mg L⁻¹), respectivamente, devem ter seu fornecimento limitado aos ruminantes, incluindo os caprinos e ovinos. Águas com concentrações superiores a 11,0 dS m⁻¹ são consideradas de alto risco para animais jovens, gestantes e lactantes (16,27 % na 1^a coleta) e 19,74% na 2^a coleta), enquanto que água com concentrações de sais acima de 16,0 dS m⁻¹ (10.240 mg L⁻¹) não oferecem condições de uso para as diversas espécies animais (RUNYAN e BADER 1994).

Para o bovinos de leite 32,56 % (1^a coleta) e 23,68% (2^a coleta) das amostras estão dentro do padrão, para bovinos de carne 87,21% (1^a coleta) e 81,58% (2^a coleta) das amostras estão dentro do padrão, para ovelhas e borregos 52,33% (1^a coleta) e 42,11% (2^a coleta) amostras estão dentro do padrão, para ovinos adultos 95,51% (1^a coleta) e 94,74% (2^a coleta) das amostras estão dentro do padrão e para equídeos 18,60% (1^a coleta) e 15,79% (2^a coleta) das amostras estão dentro valor permitido para o parâmetro cloreto.

Em relação ao cloreto 3,49% (1^a coleta) e 1,32% (2^a coleta) das amostras estão dentro do valor permitido de 250 mg L⁻¹ e 9,30% (1^a coleta) e 3,95% (2^a coleta) amostras estão

abaixo de 500 mg L⁻¹. As amostras que estão fora do padrão podem provocar aumento de umidade da excreta, principalmente em aves. (MAM, 2014).

O excesso de cloretos em águas destinadas ao consumo dos animais pode causar: Sede excessiva; Aumento de excreção urinária; Descargas nasais; Falta de apetite; Vômitos; Diarreia; Dores abdominais; Sintomas comportamentais; Prostração; Convulsões; Morte (MAM, 2014).

Para o cálcio 91,86% (1ª coleta) e 89,47% (2ª coleta) amostras estão abaixo de 500 mg L⁻¹. E apenas 7,41% (1ª coleta) e 10,53% (2ª coleta) podem apresentar Desordens funcionais; Calcificação de canos e válvulas dos equipamentos de fornecimento.

Para o parâmetro sódio 6,98% (1ª coleta) e 3,95% (2ª coleta) amostra está abaixo de 250 e 20,93% (1ª coleta) e 19,74% (2ª coleta) amostras ficaram bem abaixo de 500 mg L⁻¹.

Em relação ao potássio nas duas coletas todas estão abaixo de 250 e 500 mg L⁻¹. Valores acima do permitido podem causa aumento de umidade do excreta principalmente em aves e em outras espécies animais.

Segundo Bagley et al. (1997) para o critério de uso de águas salinas ou salobras para a dessedentação animal é que valores de 1.000 ppm de sais totais dissolvidos são considerados baixos, possibilitaram o fornecimento de água a qualquer espécie animal o que representa 5,81% (1ª coleta) e 0% (2ª coleta) das amostras de água. Por outro lado, concentrações de sais totais dissolvidos na água que variam de 1.000 a 4.999 ppm são consideradas satisfatórias para o fornecimento de ovinos e bovinos, mas, sem prejudicar o desempenho produtivo dos mesmos, podem causar diarreias temporárias ou ter má aceitação pelos animais não adaptados o que representa 48,84% (1ª coleta) e 26,32% (2ª coleta) das amostras analisadas. Entre 5.000 a 6.999 ppm de sais totais dissolvidos a água pode também ser utilizada para ovinos e bovinos, porém seu consumo por animais em estágios avançados de gestação ou lactação deve ser evitado o que representa 29,07% (1ª coleta) e 17,11% (2ª coleta) das amostras analisadas.

De 7.000 a 10.000 ppm (13,95%) (1ª coleta) e 30,26% (2ª coleta) de sais totais dissolvidos o consumo deve ser evitado, mas em situações excepcionais essa água pode ser fornecida a animais adultos que não estejam em condições de estresse; entretanto, não deve ser fornecida a animais lactantes, gestantes, equinos, ovinos e animais jovens ou sujeitos a elevados níveis de estresse térmico ou perdas de água. A partir dessas concentrações de sais na água, a mesma não deve ser fornecida aos animais.

Entre os elementos químicos, o magnésio (Mg), quando presente em excesso na água, pode causar distúrbios fisiológicos, especialmente em associação com elevadas concentrações de sais (superior a 10,0 dS m⁻¹ para ovinos).

Quanto ao consumo de água, Araújo et al. (2011) relataram que elevadas concentrações de sólidos na água podem afetar a aceitação da mesma. Isso inclui a concentração de sal. Lardy et al. (2008) afirmam que o aumento de sal na dieta estimula o aumento do consumo de água em todas as espécies por causa do aumento do volume de urina necessária para excreção de sal. Jaster et al. (1978) observaram que vacas em lactação recebendo água potável ou água salina (2500 ppm) tiveram diferença significativa quanto ao consumo de água, sendo que os animais recebendo água salina foram quem consumiram mais água (16,28%)(1ª coleta) e 6,58% (2ª coleta). Dados estes que estão de acordo com os de Valtorta et al. (2008), que observaram maior consumo de água para vacas lactantes recebendo água com 10.000 ppm de sal (97,67%)(1ª coleta) e 73,68% (2ª coleta).

Verifica-se que os valores de pH das águas variaram de 6,1 a 10,1 encontrando-se em sua maioria dentro dos limites permitidos para águas salobras da classe 3 pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e embora não se tem um parâmetro para animal, podemos correlacionar com os limites de tolerância para consumo humano que é entre 6,0 e 9,5, segundo a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde, portanto pode correlacionar que 95,35% na 1ª coleta e 100% (2ª coleta) estão adequado para todos os animais.

5.11.1. Quanto ao Teor de Magnésio na Água

Em 9,30% (1ª coleta) e 14,47% (2ª coleta) das análises de água, o valor de magnésio, ultrapassou o limite de 41 meq L⁻¹, isto é, o maior valor encontrado foi de 66,92 meq L⁻¹ (1ª coleta) e 57,62 meq L⁻¹ (2ª coleta) não recomendado para nenhum tipo de animal, portanto para este parâmetro conforme limites estabelecidos pelo permitindo pelo Australian Water Resources Council (1969), citado em Ayers e Westcot (1999). Portanto essas águas não podem ser oferecidas a nenhum, mas poderá servir de incremento nas melhores águas, através de proporções e diluições devidamente ajustadas ao limite de consumo a categoria animal desejada como usuária da referida água.

Na pesquisa, 72,09% (1ª coleta) e 85,53% (2ª coleta) estão abaixo de 41 meq L⁻¹. Esta avaliação segue limites estabelecidos pelo Australian Water Resources Council (1969), citado em Ayers e Westcot (1999).

Assim, deve-se considerar o teor de Mg^{2+} determinado nas águas, sobretudo quando a salinidade exceder $6,6 \text{ dS m}^{-1}$ (4.000 mg L^{-1}) em águas usadas pelo gado bovino e 10 dS m^{-1} (6.000 mg L^{-1}), pelos ovinos (Ayers e Westcot, 1994) o que aconteceu em das amostra de água ficaram acima de $6,6$ ($54,65\%$) e 10 dS m^{-1} ($19,77\%$).

Os valores de sais de magnésio presente na água representam outra limitação de uso, e para a atividade de pecuária, de acordo com a Figura 35, na 1ª coleta $54,65\%$ das amostras estão com a concentração de magnésio abaixo de 21 meq L^{-1} e na 2ª coleta $47,37\%$, ou seja, podem ser ofertadas para aves confinadas, suínos, equinos, vacas lactantes, ovelhas e filhotes cordeiros.

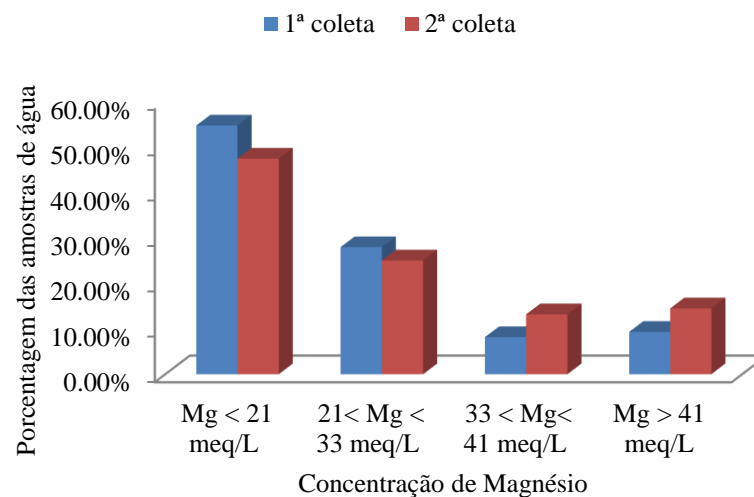


Figura 35. Teor de magnésio na água para animais

Das $27,91\%$ (1ª coleta) e 25% (2ª coleta) das amostras analisadas estão com a concentração de magnésio entre 21 e 33 meq L^{-1} essas águas só poderão ser oferecidas aos bovinos de corte adultos que são alimentados por feno. Um total de $8,14\%$ (1ª coleta) e $13,16\%$ (2ª coleta) das amostras está com a concentração de magnésio entre 33 e 41 meq L^{-1} só podem ser oferecidas para ovinos adultos que são alimentados por feno, portanto para este parâmetro conforme limites estabelecidos pelo permitindo pelo Australian Water Resources Council (1969), citado em Ayers e Westcot (1999) estão dentro do padrão.

Os animais que irão consumir essas águas com altos teores de magnésio precisam estar adaptados a esta dieta, pois animais que vem de outros lugares com níveis de sais baixos, podem sentir a toxicidade até em níveis menores. As variações dos teores podem mudar ao longo do ano, e em casos extremos de magnésio, o risco de alterar para valores superiores,

pode não ser percebido pelo produtor, sendo fontes que exigem constantes monitoramentos de análises químicas.

A variação da água, quanto ao valor de potencial hidrogeniônico (pH) foi de 6,07 a 10,07 (1ª coleta) e 6,58 a 9,01 (2ª coleta) que segundo a Resolução 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA, recomenda água para consumo animal com pH entre 5 e 9 águas salobras de classe 3, portanto, pode-se correlacionar que 82 amostras estão adequadas para todos os animais, exceto 4 amostras (4,65%) ultrapassaram o limite estabelecido na primeira coleta e na segunda coleta todas as amostras estão dentro do padrão estabelecido pela resolução.

5.12. QUALIDADE DE ÁGUA PARA AS AVES

Como a região apresenta uma avicultura expressiva de cerca de 223.000 cabeças (IBGE, 2014) foram analisadas a qualidade de água para as aves.

Segundo Scheideler e Pendleton (1995), o pH deve estar entre 6,8 e 7,5, das 86 amostras de água analisadas na primeira coleta 40,70% estavam fora desse limite e na segunda coleta 71,05%. Quanto mais alto o pH da água maior a necessidade de cloro como desinfetante.

As águas de Boa Vista apresentaram um pH variando de 6,07 a 10,07 (1ª coleta) e 6,58 a 9,01 (2ª coleta) que segundo a classificação de Scheideler e Pendleton (1995) pode ser considerada como não satisfatória e não apta para as aves.

Os resultados das análises das amostras de água de dessedentação de aves apresentaram 59,30% de pH alcalino na primeira coleta da coleta e 75% na segunda coleta. A alcalinidade é encontrada nas águas sob a forma de carbonatos e bicarbonatos e resulta da presença de sais de ácidos fracos, carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos e, ocasionalmente, silicatos e fosfatos, podendo ser cáustica (MACÊDO, 2004).

Viola et al. (2011), relata que as aves não diminuiriam o consumo de água com pH entre 2.0 e 10.0. Ainda, Gama et al. (2004) citam que a águas com pH ácido para consumo das aves pode melhorar o seu desempenho. Para Pomiano (2002) e Gama et al. (2008) o consumo de água com pH entre 6.0 a 8.0, pode alterar o desempenho das aves, afetar a performance de frangos, a produção e a qualidade dos ovos em poedeiras, precipitar antibióticos e interferir na eficiência da cloração da água, havendo dessa forma uma discordância em relação a esta questão.

A correção do pH da água também é importante para administração de medicamentos e realização de vacinações via água de bebida, pois valores extremos de pH prejudicam a sobrevivência dos vírus das vacinas quando diluídos em água para aplicação massal às aves, a dissolução do antibiótico tilosina e promove a precipitação das sulfonamidas (GAMA et al., 2004).

Conforme Vohra (1980), a dureza não é prejudicial às aves, a menos que os íons estejam presentes em grandes quantidades o que torna a água tóxica, podendo ocorrer um aumento da mortalidade por doença cardiovasculares das aves (NERI et al., 1975).

Especula-se que a dureza pode estar relacionada com o surgimento da síndrome do fígado graxo em poedeiras, embora Jensen et al. (1977) não tenham conseguido êxito em demonstrar esta relação experimentalmente.

Pomiano (2002) relata ainda que para a água utilizada em granjas avícolas deve-se ter como ideal o índice de dureza até 60 mg L^{-1} , tolerando-se índices até 110 mg L^{-1} de CaCO_3 , observando-se a partir deste índice seus efeitos são deletérios. Para Lager et al. (2000), a dureza pode interferir na qualidade microbiológica da água, pela falta de eficiência dos detergentes na higienização dos equipamentos, este efeito passa a ser importante quando ultrapassa 100 mg L^{-1} de Carbonato de cálcio. Segundo Macari (1996) a qualidade da água para aves, em função da sua dureza são de águas muito duras (acima de 180 mg L^{-1}) o que representa 98,84% (1ª coleta) e 86,84% (2ª coleta).

Entre os minerais que estão presentes na dureza da água podemos citar o cálcio e o magnésio. O maior problema com a dureza da água não está relacionado com a sua qualidade para os animais, pois poucos são afetados diretamente por este fator. Entretanto, o excesso de dureza pode comprometer as tubulações, por acúmulo de material no sistema prejudicando a vazão de água nos bebedouros e, assim, indiretamente prejudicar as aves. Água que tem acima de 180 ppm de CaCO_3 é considerada muito dura e deve ser evitada. A dureza da água influencia a capacidade de sabão e detergente em formar espuma, característica que também deve ser observada na água utilizada em granjas, interferindo no manejo de limpeza e desinfecção das instalações. A dureza da água refere-se, principalmente, à concentração de íons de cálcio e magnésio em solução, formando precipitados devido aos carbonatos de cálcio e magnésio, sendo expressa como mg L^{-1} de CaCO_3 . Em níveis altos de dureza pode-se comprovar o sabor desagradável à água, incrustações nas tubulações, efeito laxativo e interferência na eficiência de alguns medicamentos e desinfetantes, como por exemplo, a

amônia quaternária que tem sua efetividade diminuída (BLOCK, 1991; MOUCHREK, 2003; GAMA et al., 2004; FAIRCHILD e RITZ, 2006).

Como relatado anteriormente, a presença de cálcio está relacionada com a dureza, sendo de 60 mg L^{-1} o nível máximo aceitável para água de dessedentação de aves.

Das amostras analisadas, 17,44% (1ª coleta) e 21,05% (2ª coleta) estão dentro do valor permitido para aves. O cálcio raramente causa problemas de intoxicação em aves e o aumento dos seus níveis na água foi correlacionado com melhor conversão alimentar e peso corporal, porém com diminuição da viabilidade do lote (ÁGUA, 1988).

O potássio ainda não teve determinada a concentração máxima para a água de dessedentação das galinhas, mas na água potável para seres humanos, está enquadrado como sólido dissolvido e tem sua quantidade máxima determinada em 10 mg L^{-1} de água (Vohra, 1980). Marks (1987) demonstrou que o aumento de potássio na dieta promove um aumento no consumo de água pelos frangos de corte. Durante avaliação nos 86 poços, a qualidade da água para aves, em função do teor de potássio (10 mg L^{-1}) teve 86,05%, em ambas coletas, acima do valor máximo permitido.

Segundo NRC (1974), para o critério de uso de águas para aves com valores abaixo de 1.000 ppm de sais totais dissolvidos são considerados baixos, possibilitaram o fornecimento de água a qualquer espécie aves, das 1,16% das amostras de água analisadas da pesquisa estão dentro desse valor. Por outro lado, concentrações de sais totais dissolvidos na água que variam de 1.000 a 2.999 ppm são consideradas satisfatórias para o fornecimento de qualquer espécie de aves, mas, sem prejudicar a saúde ou o desempenho produtivo dos mesmos, podem causar fezes úmidas o que representa 12,79% das amostras analisadas.

Por outro lado, concentrações de sais totais dissolvidos na água que variam de 3.000 a 4.999 ppm são consideradas águas não satisfatórias para o fornecimento as aves, frequentemente causam fezes úmidas, aumenta a mortalidade e diminui o desempenho (perus), o que representa 17,44% das amostras analisadas estão dentro desse intervalo.

Entre 5.000 a 6.999 ppm de sais totais dissolvidos a água não é aceitável para aves, compromete o crescimento e aumenta a mortalidade o que representa 17,44% , estão dentro desse intervalo em ambos períodos de coletas.

Entre 7.000 a 10.000 ppm de sais totais dissolvidos a água não pode ser usadas para aves, mas pode ser usada para outros tipos de animais, o que representa 31,40% das amostras analisadas. Acima de 10.000 ppm não pode ser usada para qualquer espécie de animal, 19,77% de amostras estão acima de 10.000 na primeira coleta e 25% na segunda coleta.

Decorrentes da possibilidade de águas que tenham esta predisposição O maior problema com a dureza da água não está relacionado com a sua qualidade para os animais. Pouco eles são afetados por este fator. Entretanto, excesso de dureza pode comprometer fortemente as tubulações, por acúmulo de material no sistema. Este comprometimento das tubulações pode prejudicar a vazão de água nos bebedouros e, assim, indiretamente prejudicar os frangos de corte. A composição química da água afeta a condição sanitária dos intestinos e certos medicamentos podem não solubilizar em águas que são muito duras e que têm um pH inadequado. Uma característica química denominada de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) ou Salinidade nos oferece uma boa referência da qualidade química da água.

Os minerais que normalmente mais contribuem para os valores de SDT são cálcio, magnésio, sódio, cloro, bicarbonato e enxofre. (PENZ JÚNIOR, 2002; MACÊDO, 2007).

A análise de SDT é um parâmetro importante a ser monitorado em se tratando de qualidade da água na produção avícola, pois à medida que o SDT aumenta a qualidade da água piora, causando diminuição para o consumo de água e prejuízos no desempenho das aves (NRC, 1974).

Das águas dos poços tubulares analisados 96,51% das águas da primeira coleta e 97,37% na segunda coleta não estão aptas para as aves no parâmetro cloreto. Altas taxas de cloretos podem conferir sabor salgado à água (MOUCHREK, 2003).

5.13. CARBONATO DE SÓDIO RESIDUAL

O carbonato de sódio residual é aceitável para 100% nos dois períodos estudados das amostras que segundo Wilcox et al., (1954) água com CSR até $1,5 \text{ meq L}^{-1}$ não oferece nenhum perigo, é aceitável não oferecendo nenhum risco. Em todos os poços avaliados, os valores encontrados ficaram abaixo de $1,25 \text{ meq L}^{-1}$, demonstrando que a qualidade da água é adequada para a prática da irrigação, sendo baixo o risco de impermeabilização do solo. Valores acima de $2,5 \text{ meq L}^{-1}$ de CSR indicariam que a qualidade de água seria imprópria para irrigação, fato não confirmado. Valores de concentração superior a $2,5 \text{ meq L}^{-1}$ na água adotar-se-iam medidas no sentido de viabilizar seu uso na irrigação, como a aplicação de corretivos aliados a um manejo de água adequado. Nas áreas com valores de CSR intermediários (valores entre $1,25$ e $2,5 \text{ meq L}^{-1}$), a água subterrânea na região estudada para fins de irrigação, deve ser usada com cautela e mediante monitoramento constante das consequências do seu uso sobre o solo (ANDRADE JÚNIOR, 2006).

5.14. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO

Barros et al. (1999), afirmam que valores de pH entre 6,9 a 7,4 favorecem a formação de bicarbonatos, fazendo com que as águas de irrigação se tornem alcalinas, os valores das águas estudadas oscilaram entre 6,58 até 9,01.

Por outro lado e em razão dos elevados valores de pH (moda superior a 7,0, chegando a se registrar valores superiores a 8,0) podem ocorrer problemas para os equipamentos usados na irrigação (corrosão) ou precipitação de adubo na tubulação, adsorção de nitratos (principalmente quando a água possui tores elevados de CO_3^{2-}), quando usadas na fertirrigação podendo o problema se agravar com a obstrução de emissores quando o pH da água é muito elevado (MAIA, 1998).

Segundo Ayers e Westcot (1999), as águas com valores correspondentes a grau de restrição nenhuma ao uso na irrigação, não apresentam problemas para a maioria das culturas e solos. 21,79% das águas fora do padrão, conforme as diretrizes citadas em Ayers e Westcot (1999). Nakayama (1982) cita que não existe restrição para águas com pH abaixo de 7, com restrição moderada para águas com pH entre 7 e 8 e com severa restrição para pH acima de 8, em relação à obstrução de emissores para irrigação localizada.

5.15. RELAÇÃO $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$

Na primeira coleta 74,36% das amostras analisadas podem causar injúrias às plantas quando a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ é menor que a unidade. Na segunda coleta observando-se a relação $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, 8,14% das águas dos poços não induzem a deficiência de cálcio às plantas, se usada para irrigação, pois os valores são superiores a unidade (1,0) ao longo do período amostrado, posto que Ayers e Westcot (1999), afirmam que quando as reservas do solo não são suficientemente altas, valores inferiores a 1, são prejudiciais o que representa 91,86% das amostras.

Morais et al. (1998), acrescentam que quando a proporção $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, é menor que a unidade, os efeitos potenciais do sódio são ligeiramente maiores, em virtude da concentração de sódio ser determinada pela RAS, ou seja, determinado valor da RAS é ligeiramente mais perigoso quanto menor for a proporção $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ou próxima da unidade.

5.16. CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

A condutividade elétrica da água (CEa) é o parâmetro utilizado por Richards para classificar as águas de irrigação quanto ao risco de salinidade. Os resultados encontrados com as análises de água do município de Boa Vista - PB (Figura 36) apresentaram 0 de amostras (0%) pertencente à classe C1 (0 – 250 uS/cm) (1ª e 2ª coleta) água de excelente qualidade de baixo perigo de salinidade; 1 amostra, 1,16% (1ª coleta) e 0% (2ª coleta) pertencente à classe C2 (250 - 750 uS/cm) classificada como boa qualidade de água e com médio perigo de salinidade; 7 amostras, 8,14% (1ª coleta) e 3 amostras (2ª coleta) pertencentes à classe C3 (750 - 2.250 uS/cm) com qualidade água regular e alto perigo de salinidade e 78 amostras, 90,70% (1ª coleta) e 73 amostras (2ª coleta) pertencentes à categoria C4 (> 2.250 uS/cm) com qualidade ruim de água e o perigo de salinidade de muito alto o que difere dos valores encontrados por Neto et al. (2009) em que as análises de água da sub-bacia do Rio Taperoá apresentaram 81 amostras (40,7%) pertencente a classe C1 (0 - 250 uS/cm); 41 amostras, 20,6% pertencente a classe C2 (250 - 750 uS/cm); 46 amostras, 23,61% pertencente a classe C3 (750 - 2.250 uS/cm) e 31 amostras, 15,58% pertencente a categoria C4 (> 2.250 uS/cm).

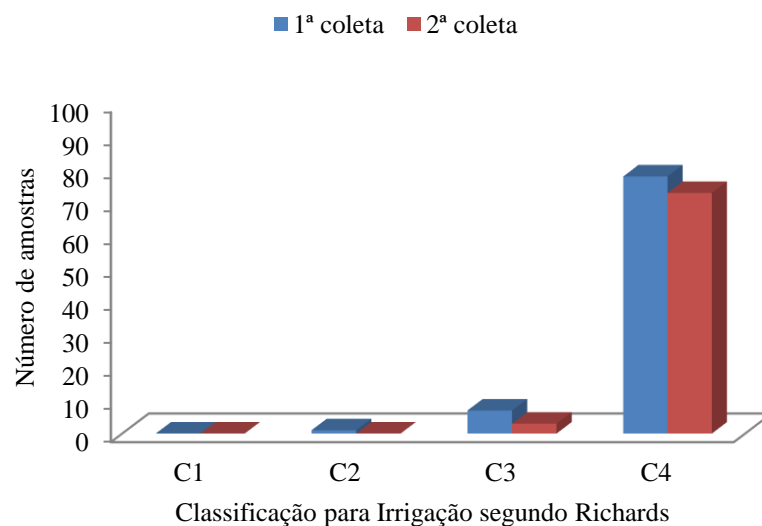


Figura 36. Análise da condutividade elétrica da água para irrigação segundo Richard.

A maioria das águas foi classificada como C4, com salinidade muito alta, porém na Fazenda Lajes (Figura 37) foi observada uma plantação de palma utilizando-se água com

condutividade de $6,040 \text{ dS m}^{-1}$ e na Comunidade Caluête (Figura 38) plantação de capim utilizando-se água com nível de condutividade elétrica de $3,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Os resultados das determinações físico-química que interferiram na salinidade da água de irrigação, indicam que o parâmetro Condutividade Elétrica da água de irrigação (CEa) 1,16% possui grau de restrição de nenhuma ($< 0,70 \text{ dS m}^{-1}$) a ligeira e moderada 12,79% ($0,70 - 3,00 \text{ dS m}^{-1}$), e severo grau de restrição para uso 86,05% ($> 3,00 \text{ dS m}^{-1}$), com valor mínimo de $0,69 \text{ dS m}^{-1}$; médio de $7,53 \text{ dS m}^{-1}$ e máximo de $17,904 \text{ dS m}^{-1}$ e mediana de $7,39 \text{ dS m}^{-1}$.



Figura 37. Plantação de palma irrigada com água subterrânea



Figura 38. Plantação de capim irrigada com água de poços tubulares

De acordo com o risco de salinidade pela UCCC, 1,16% das águas apresentam nenhum risco; 12,79% apresentam de baixo a moderado risco e 86,05% apresentam severo risco de salinizar o solo na primeira coleta e 0% das águas apresentam nenhum risco, 10,53% apresentam de baixo a moderado risco e 89,47% apresentam severo risco de salinizar o solo na segunda coleta (Figura 39).

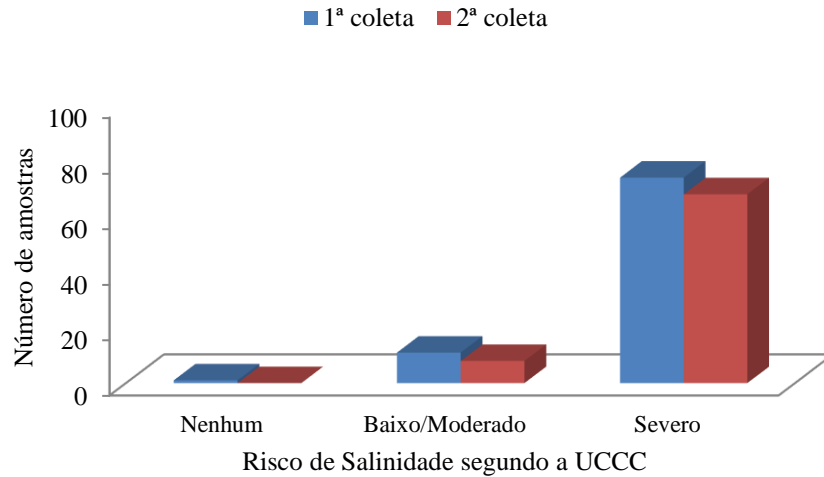


Figura 39. Classificação das águas de irrigação segundo a UCCC.

A presença de culturas com resistência à salinidade, como o capim elefante, com sub-irrigação pelo lençol freático, e o coco anão, com irrigação pelo sistema de microaspersão fazem com que o uso dessas fontes, com elevados níveis de sais e restrição severa quanto à salinização do solo, não seja uma limitação quanto ao risco de sodificação (infiltração) conforme Oliveira et al. (2005).

Quanto ao pH da água de irrigação, 77,91% estão abaixo entre 6,5 e 8,4 e 2,33% estão abaixo de 6,5 e 18,60% estão acima de 8,4 (Figura 40); no entanto, pH acima do recomendado mostra risco moderado quanto ao entupimento do sistema podendo prejudicar a uniformidade de distribuição agravando mais ainda o risco quando agregado o problema de excesso de íons, favorecendo danos, não só ao sistema de irrigação mas também podendo ocasionar clorose e atraso no crescimento vegetativo da planta, segundo o que especificam Ayers e Westcot (1999). Barros et al. (1999) afirmam que valores de pH entre 6,9 a 7,4 favorecem a formação de bicarbonatos desde que, com as águas de irrigação, se tornem alcalinas.

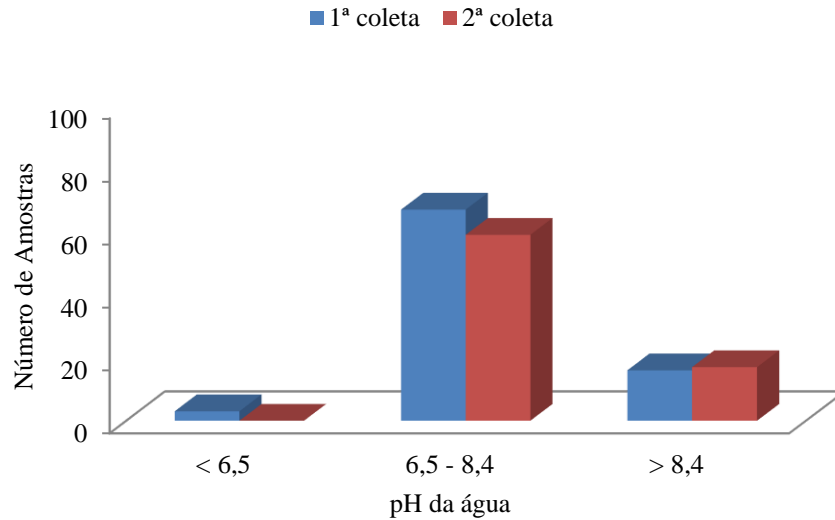


Figura 40. Valores de pH da água de irrigação.

De acordo com o risco de sódio na irrigação por superfície pela UCCC, 1,16% das águas apresentam nenhum risco, 34,88% indicam de baixo a moderado risco e 63,95% apresentam severo risco de salinizar o solo primeira coleta e 3,95% das águas apresentam nenhum risco, 40,79% apresentam de baixo a moderado risco e 55,26% apresentam severo risco de salinizar o solo na segunda coleta (Figura 41). Deve-se lembrar, ainda, que no geral os problemas de toxicidade complicam e complementam os problemas de salinidade e permeabilidade, pois a acumulação dos íons em concentrações tóxicas e seus efeitos não acontecem imediatamente e os sintomas visuais dos danos demoram a ser observados. O surgimento de tal problema dependerá do tempo, da concentração, da tolerância da cultura e do volume de água transpirada (AYERS e WESTCOT, 1999).

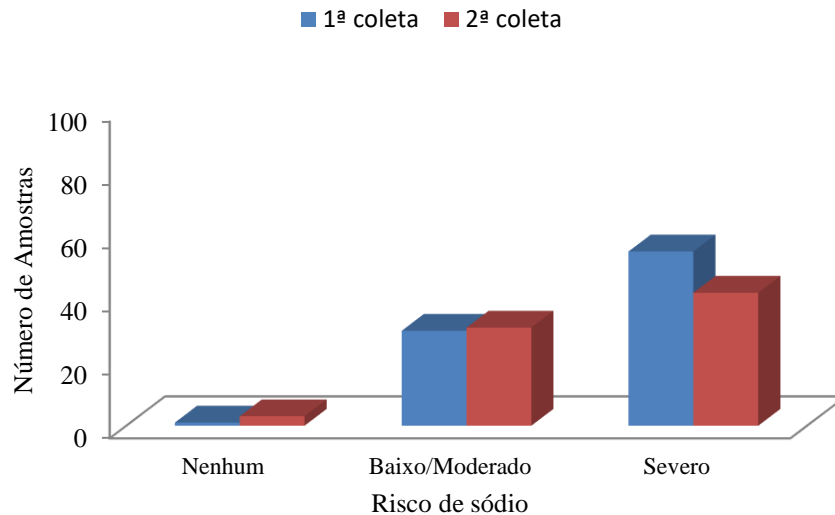


Figura 41. Valores para o risco de sódio na água de irrigação por superfície.

De acordo com o risco de sódio na irrigação por aspersão pela UCCC, 0% das águas apresenta nenhum risco, 100% indicam de baixo a moderado risco de salinizar o solo (1ª coleta e 2ª coleta) (Figura 42).

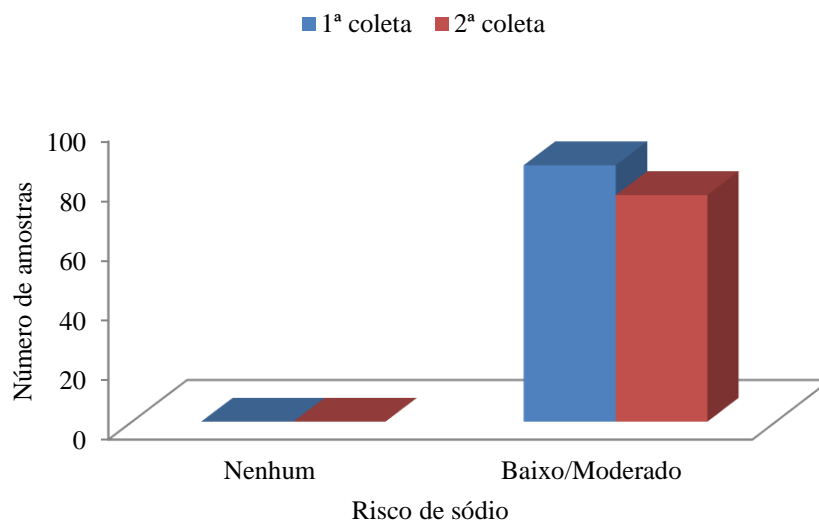


Figura 42. Valores para o risco de sódio na água de irrigação por superfície.

De acordo com o risco de cloreto na irrigação por superfície pela UCCC, 3,49% das águas apresentam nenhum risco, 5,81% apresentam de baixo a moderado risco e 90,70% apresentam severo risco de salinizar o solo (1ª coleta) e 0% das águas apresentam nenhum risco, 1,32% apresentam de baixo a moderado risco e 98,68% apresentam severo risco de salinizar o solo (2ª coleta) (Figura 43). As altas concentrações de cloreto podem ser

responsáveis pelo aumento gradativo de salinidade das águas subterrâneas e, consequentemente, pelo aumento de STD. As origens desse elemento podem estar vinculadas à influência das águas marinhas sobre as continentais, particularmente localizada em zona litorânea, ou à captação das águas subterrâneas no meio cristalino (CAVALCANTE, 1998).

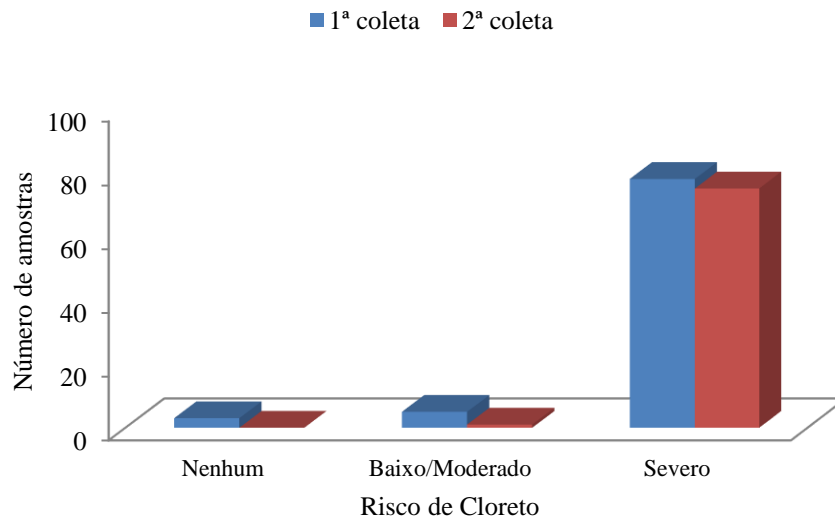


Figura 43. Risco de cloreto na água de irrigação por superfície.

De acordo com o risco de cloreto na irrigação por aspersão pela UCCC, 3,49% das águas apresentam nenhum risco, 96,51% apresentam de baixo a moderado risco (1ª coleta) e 0% das águas apresentam nenhum risco, 100% apresentam de baixo a moderado risco de salinizar o solo (2ª coleta) (Figura 44). Para essas águas oferecem perigo de toxicidade, deve-se ter um manejo adequado porque os íons cloreto podem manifestar-se mesmo quando se encontram em quantidades relativamente baixas. Esses íons presentes na água de irrigação provocam, com frequência, toxicidade nas culturas, por não serem adsorvidos pelas partículas do solo; no entanto, 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 quentes, em que as condições ambientais favorecem alta transpiração (AYERS e WESTCOT, 1999).

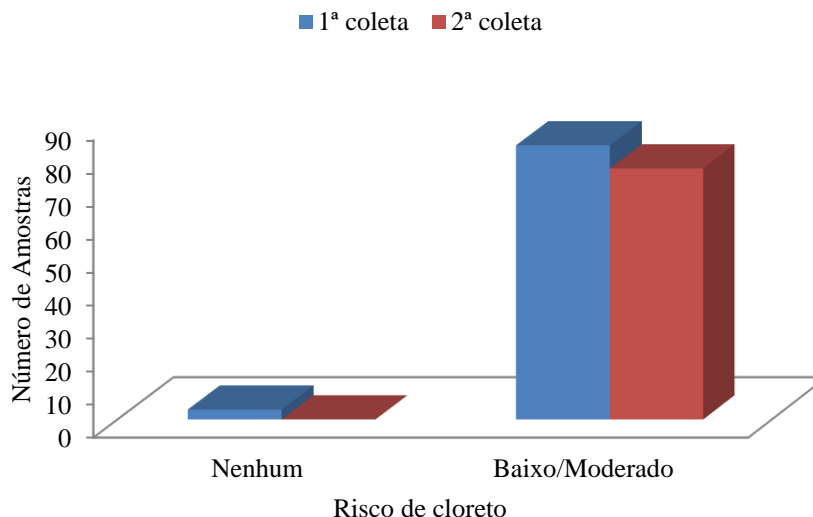


Figura 44. Risco de cloreto na água de irrigação por aspersão.

O tipo de irrigação a ser utilizado também apresenta maior ou menor intensidade de absorção do cloreto, ou seja, quando o método de irrigação utilizado for por aspersão a toxicidade é mais rápida haja vista que a absorção é realizada diretamente pelas folhas; esta absorção pode ser afetada pela qualidade da água que está sendo usada e também pela capacidade da planta em excluir o conteúdo desse íon no solo, o qual se controla com a lixiviação que é um processo realizado com o aumento do volume de água nas etapas de irrigação onde a salinidade é dissipada para camadas mais profundas do solo mantendo a zona radicular com pequena quantidade de sais para não prejudicar o desenvolvimento das culturas (AYERS e WESTCOT, 1999).

De acordo com o risco de bicarbonato na irrigação por aspersão pela UCCC, 5,81% das águas apresentam nenhum risco, 83,72% apresentam de baixo a moderado risco e 10,47% apresentam severo risco de salinizar o solo (1ª coleta) e 1,32% das águas apresentam nenhum risco, 96,05% apresentam de baixo a moderado risco de salinizar o solo e 2,63% com severo risco (2ª coleta) (Figura 45). Essas águas devem ser evitadas, principalmente se o sistema de irrigação utilizado for por aspersão, devido aos constantes problemas de incrustações que o bicarbonato provoca sobre as flores, folhas e frutos originando, com isto, dificuldades na comercialização dos produtos, em virtude da má aparência. Problemas também podem ser observados em águas com baixos teores desse íon, caso a evaporação seja elevada e a umidade relativa menor que 30%, Ayers e Westcot (1999), mas são minimizados (ou solucionados) quando a irrigação é realizada à noite e no manejo se reduz a frequência e se aumenta a velocidade de rotação do aspersor, porque a velocidade influi na precipitação

lançada sobre o terreno em cada instante, ou seja, quanto maior a velocidade menor será a precipitação instantânea sobre determinado ponto do círculo molhado e, conseqüentemente, menor será o risco provocado pelo encharcamento do terreno.

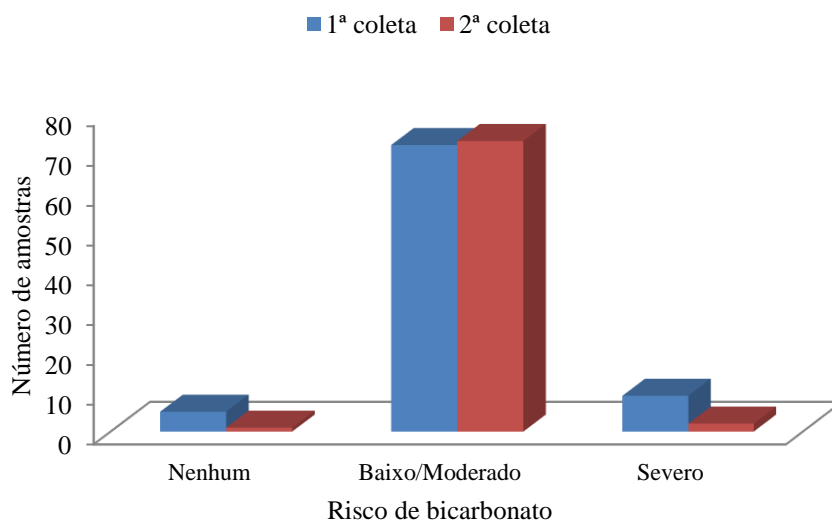


Figura 45. Valores para o risco de bicarbonato na água de irrigação por aspersão.

Outro problema provocado pela presença do bicarbonato na água é a formação de camadas compactadas no solo com a conseqüente redução da infiltração e da permeabilidade da água através do perfil; tal se dá por haver, nas águas ricas em bicarbonato tendência de precipitação, sobretudo do cálcio na forma de carbonato sempre que a solução do solo se torna mais concentrada, aumentando o risco de sodicidade (BARRETO, 2007).

6. CONCLUSÕES

De acordo com a caracterização hidroquímica, as águas da região de Boa Vista – PB são classificadas em sua maioria como sódicas cloretadas.

As variáveis; sódio, magnésio e cloreto, são as que melhor se ajustam à reta, tendo forte correlação positiva com a condutividade elétrica da água, sendo explicada pela equação. As equações geradas são de grande relevância econômica para atividade agropecuária para produtor rural e/ou técnico de assistência técnica, pois poderá, em posse de um condutivímetro portátil, determinar a condutividade elétrica da água e através da equação obter uma estimativa do teor de sódio, magnésio e cloreto na fonte, permitindo enquadrar a água para o destino adequado de dessedentação animal evitando águas com teores altíssimos de sais provocando diarreia, intoxicação, perda no ganho do peso, aborto nas fêmeas prenhas ou até a morte de animais, com consequentes prejuízos financeiros e diminuição do rebanho.

Em relação ao cloreto os valores ficaram em sua maioria fora do padrão permitido para consumo humano, animais e irrigação. Para os cátions cálcio e sódio permaneceram nas duas coletas em sua maioria dentro do valor permitido. Para o magnésio e o potássio, a maioria das amostras ficou bem acima do valor permitido para humanos e animais.

Foram classificadas com incrustação moderada e corrosão forte na primeira coleta de dados e na segunda como balanceada e corrosão forte. De acordo com os sólidos dissolvidos totais a água é considerada salina.

Analisando a qualidade da água através do potencial hidrogeniônico (pH) em sua maioria, dentro do valor máximo permitido para consumo humano, animal e irrigação, para a condutividade elétrica (CE); de modo geral, os poços tubulares apresentaram valores bem acima do recomendado para consumo humano, animal e irrigação. Predominam nas águas analisadas os elementos cloreto e sódio sendo, assim, essas águas tem alto a muito alto risco de salinidade e sodicidade, respectivamente, quando utilizadas. São águas C4, com salinidade muito alta. Essas águas somente devem ser usadas para culturas tolerantes aos sais.

De acordo com o carbonato de sódio residual, é aceitável, para todas as amostras, não oferecer nenhum perigo; é aceitável não oferecendo nenhum risco, demonstrando que a qualidade da água é adequada para a prática da irrigação, sendo baixo o risco de impermeabilização do solo.

Como nos anos de 2014 e 2015, em virtude da pouca ou quase nenhuma precipitação pluviométrica da região, as fontes de água subterrânea tiveram seus teores de sais aumentados, o que desfavoreceu sua recomendação para consumo animal.

7. RECOMENDAÇÕES

Como pelo estudo das águas subterrâneas as mesmas foram classificadas como salinas, podemos recomendar para a região várias plantas que são capazes de crescer sob condições de solo e de água salina. Dentre elas podemos citar as halófitas com bom desempenho para serem cultivadas em ambientes com altas concentrações de sais no solo e água, podendo revegetar as áreas salinas e ao mesmo tempo proporcionar o uso como forragem para os animais caprinos, ovinos e bovinos.

Essas águas podem ser utilizadas na aquicultura, na criação de tilápia e camarão e em cultivos hidropônicos.

Recomenda-se também a construção de cisterna e cisternões para a diluição das águas que apresentam altas concentrações de sais para que elas possam ser oferecidas aos animais sem qualquer prejuízo.

Recomendamos também que seja feito um trabalho de conscientização para que haja o fechamento dos poços para evitar o desperdício de água e o agravamento dos sais nas águas superficiais da região.

8. REFERÊNCIAS

ABAS - Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. XII Congresso de Águas Subterrâneas, 2002. Pode faltar água no planeta azul. Fabrica de Comunicação. Disponível em: http://www.abas.org/cabas/nt_0008.php. Acesso em: 18 out. 2015.

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, acessado em <<http://geo.aesa.pb.gov.br/> e <http://www.aesa.pb.gov.br/> > em set 2016.

ALVES, C. **Tratamento de Águas de Abastecimento**. 2ª ed. Publindústria, Edições Técnicas. Porto. 2007. 335p.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. Disponível em: Acesso em: 07 mar. 2014.

AMARAL LA. Controle da qualidade da água utilizada em avicultura. In: CONGRESSO DE PRODUÇÃO E CONSUMO DE OVOS, 2., 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: APA, 2000, p. 99-108.

ANA-AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. Brasília: ANA, 2007. 113p.

ANA – Agência Nacional de Águas. Caderno de Recursos Hídricos: Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. Brasília, DF. Maio de 2005. 80 p.

ANA – Agência Nacional de Águas. Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água: Panorama Nacional. Brasília, DF. vol. 1. 72 p. 2010.

ANA-AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. GEO Brasil: recursos hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. / Ministério do Meio Ambiente ; Agência Nacional de Águas ; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília : MMA; ANA, 2007.

ANA-AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil / coordenação geral, João Gilberto Lotufo Conejo; coordenação executiva, Bolívar Antunes Matos. Brasília: ANA, 2007. - Caderno de Recursos Hídricos.

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO, 2000. Brasília: DNPM, v.29, 2000. 401p.

ARAÚJO, G. G. L.; VOLTOLINI, T. V.; TURCO, S. H. N., A água nos sistemas de produção de caprinos e ovinos. In: Produção de caprinos e ovinos no Semiárido. Petrolina, 2011, 553p.

ARAÚJO, G. G. L.; VOLTOLINI T. V.; TURCO, S. H.N.; PEREIRA, L. G. R. Disponível em:<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/916896/1/03Aguanossistemasdeproducaodecaprinoseovinos.pdf>.pdf A água nos sistemas de produção de caprinos e ovinos. Acesso em 2016.

ARMIEJO V. M (1994). "**Águas bicarbonatadas**". En: Curas Balnearias y Climáticas. Talasoterapia y Helioterapia, Ed. Computense, Madrid, 261-267p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. 3rd. ed. Rome: FAO, 1999. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29).

AZEVEDO, A.C. e DALMOLIN, R.S.D. **Solos e Ambiente: uma introdução**, ED. Pallotti, Santa Maria - RS, 2004.

BAGLEY, C. V.; AMACHER, J. K.; POE, K. F. **Analysis of water quality for livestock**. Logan: Utah State University, Cooperative Extension. 7p, 1997.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Trad. Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2ª ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2002, 622p.

BALACHANDAR, D., SUNDARARAJ, P., RUTHARVEL, M. K., E KUMARASWAMY, K. AN investigation of groundwater quality and its suitability to irrigated agriculture in Coimbatore District, Tamil Nadu, India – A GIS approach. **International Journal of Environmental Sciences**, 1(2), 2010 176-190.

BARRÊTO, J.F. **Avaliação dos recursos hídricos da sub-bacia hidrográfica do rio Taperoá**. Dissertação de mestrado, universidade Federal de campina grande, 2007.

BATALHA B. L. e PARLATORE A. C. **Controle da qualidade da água para consumo humano**: bases conceituais e operacionais. CETESB, São Paulo, 1993 p 186.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8ª ed. Atualizada e Ampliada. Viçosa; UFV, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 357**. Diário Oficial da União de 18/03/2005. Brasília, 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. **Diário Oficial República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 de Abr. 2008. Seção Resoluções, 71p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde, **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 de Dez. 2011.

BRASIL, Política nacional de recursos hídricos nº 9433, disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil/03/leis/L9433.htm>. Acesso em abril de 2014.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA. Secretaria de Minas e Metalurgia; CPRM – Serviço Geológico do Brasil [CD ROM] Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil, Sistema de Informações Geográficas SIG. Mapas na escala 1:2.500.000. Brasília: CPRM, 2001. Disponível em 04 CD's.

BOHN, H.L.; McNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. **Soil chemistry**. 2 ed. New York, John Wiley e Sons, 314p. 1985.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S. **Trickle irrigation for crop Production: design, operation and management.** Amsterdam: Elsevier, cap 3.1986. 163p.

CADIER, E. **Manual do pequeno açude.** Recife: SUDENE, 1992. 524 p.

CAJAZEIRAS, C. C.A; **Qualidade e Uso das Águas Subterrâneas e a Relação com Doenças de Veiculação Hídrica, Região de Crajubar/CE.** Fortaleza: UFC, 2007. Dissertação (Mestrado em Geologia).

CARNEIRO, J. O. **Recursos de Solo e Água no Semiárido Nordeste.** João Pessoa: A UNIÃO, 1998.115 p.

CASALI, C. A. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul.** Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2008 p 68

CAVAZZANA, G. H.; LASTORIA, G.; GABAS, S. G.; BEZERRA, C. M. P. 2012. Análise de agressividade e incrustação das águas subterrâneas na região urbana de Campo Grande – MS. **Revista Águas Subterrâneas** (São Paulo), v. 26, p. 83-97.

CDRM Companhia de Desenvolvimento dos Recursos Minerais
<http://paraiba.pb.gov.br/cdrm-programa-perfuracao-de-900-pocos-artesianos-este-ano/>

CELLIGOI, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. **Revista Geografia**, Londrina, v. 8, n. 1, p. 91-97, 1999.

CETESB. Licenciamentos, outros documentos. Disponível em:
http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/cetesb/outros_documentos.asp#2. Acesso em: Outubro, 2015.

CORTECCI, Gianni (2002) - **Geologia e Saúde** – Tradução de Wilson Scarpelli, São Paulo 30p.

CONAMA. Resolução nº 357, de 2005. Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Brasil. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2005.

COSTA, A. M. B; MELO, J. G; SILVA, F. M; Aspectos da Salinização das Águas do Aquífero Cristalino no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, v.20, n.1, p.67-82, 2006.

COSTA, R. G. **Caracterização da qualidade da água de irrigação da microrregião homogênea de Catolé do Rocha-PB** (MRH – 89). 1982.89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

CPRM Serviço Geológico do Brasil. Programa de Água Subterrânea Para o Nordeste 2001. Recife: CPRM, 2001. Disponível em:
<http://ftp.cprm.gov.br/pub/pdf/dehid/prgaguaregne.pdf>. Acesso em: 20 de setembro de 2016.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2000. Programa de Água Subterrânea para o Semiárido Brasileiro – Diretrizes Programáticas 2000 a 2003. 36 p.

CPRM -PROJETO CADASTRO DE FONTES DE ABASTECIMENTO POR ÁGUA SUBTERRÂNEA;

http://www.cprm.gov.br/publique/media/hidrologia/mapas_publicacoes/Atlas_Digital_RHS/pernambuco/relatorios/CATE045.pdf. Acesso em: 22 de setembro de 2016.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrologia Subterrânea**. 2ª ed. Barcelona: Ed Omega S/A, v.2, 1983.

DAKER, A. **Irrigação e Drenagem** 4ª ed. Rio de Janeiro. Liv. Freitas Bastos S.ª 1970 453p.

EATON, F. M. Significance of carbonate in irrigation waters. *Soll Sei*. 69:1 23-33, 1950. ECKHARDT, R. R.; DIEDRICH, V. L., FERREIRA, E. R.; STROHSCHOEN, E.; DEMAMAN, L. C. Mapeamento e avaliação da potabilidade subterrânea do município de Lajeado, RS, Brasil. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 4, n. 1, p. 58-80, 2008.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ª ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p

FALCÃO, E.C **Análise de Riscos à Degradação Ambiental Utilizando Avaliação Multicritério Espacial, no Município de Boa Vista-PB**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - Paraíba. 2013.

FAO/UNESCO. **Irrigation, drainage and salinity**. Paris, Hutchison, 1973. 510p.

FAO. **Crops and drops: making the best use of water for agriculture**. Roma 2002. 22p.

FAO (Roma, Itália). **Estudios de caso de especies vegetales para zonas eridas y semieridas de Chile y Mexico**. Santiago: Oficina regional de la FAO para America Latina y el Caribe, 1996. 143p. il (FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Zonas Aridas y Semiaridas, 10).

FARIAS, S. A. R., BARACUHY, J.G. DE V., SANTOS, J.S. DOS, FERREIRA, A.C., FERNANDES NETO, S., ROCHA, J.S.M. DA, Capítulo 6-**Gestão de bacia hidrográfica. Manejo ecológico integrado de bacias hidrográficas no semiárido brasileiro**. CNPQ, Campina Grande-PB, EPGRAF, 2012, 511P.

FEITOSA, F. A. C. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 3. Ed. revisada e ampliada. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 811p.

FEITOSA, F. A. C; MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. 2ª ed. Fortaleza: CPRM/REFO. LABHID-UFPE. 2000. 391p.

FERNANDES, P. A. M.; ALVES, M.G.; DIAS FILHO, J.L.E.; SILVA JÚNIOR, G.C.; Diagnóstico Hidroquímicos das Águas Subterrâneas de Quissamã – RJ, **Perspectiva online exatas e engenharia**. Campos dos Goytacazes 3 (6) 25-41, 2013.

FILHO, O. A. S.; VERÍSSIMO, L. S. SILVA, C. M. S. V.; SANTIAGO, M. M. F. Medidas hidroquímicas nas águas subterrâneas da região de Irauçuba, norte do Ceará. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2004. http://www.cprm.gov.br/publique/media/medidas_hidroq.pdf 18 Out. 2015.

FRANCA, R. M.; FRISCHKORN, H.; SANTOS, M. R. P.; MENDONÇA, L. A. R.; BESERRA, M. C. Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte – CE. **Revista Engenharia Sanitária**, Rio de Janeiro, v.11, n.1, p.92-102, 2006.

FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; RESENDE, M. Terra e água na reforma agrária do semiárido norterio-grandense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 01, p. 183-187, 2002.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Software para interpretação de gráficos e dados Hidroquímicos: Qualigraf. Disponível em <http://www.funceme.recursos_hidricos>. Acesso em: 8 de jun. de 2016.

GRADES, E. des A. **Modelling and simulation of CO₂ release in multiple-effect distillers for seawater desalination. jordanien**, Dissertation (Doktor-Ingenieur). Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg in Tafilah, p 78-84, 2004.

IBGE-FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Acessado <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> em set 2011.

IBGE-FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Geografia do Brasil. Região Nordeste. Rio de Janeiro: SERGRAF, 1977. Disponível em CD.

IBGE-FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapas Base dos municípios do Estado da Paraíba. Escalas variadas. Inédito.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/recursos_hidricos/regionais/nordeste_hidrogeologico.pdf Acesso em: 19 nov 2013. <http://www.ecodebate.com.br/2013/12/18/ibge-mapeia-aguas-superficiais-e-subterraneas-do-nordeste/>

JASTER, E. H.; SCHUH, J. D. E.; WEGNER, T. N. Physiological Effects of Saline Drinking Water on High Producing Dairy Cows. **Journal of Dairy Science**. v.61, p.66- 71, 1978.

LARAQUE, A. **Estudo e previsão da qualidade de água de açudes do Nordeste semiárido brasileiro**. Recife, SUDENE 1989. 59P.

LARDY, G., STOLTENOW, C., JOHNSON, R. **Livestock and Water**. North Dakota State University, Fargo, North Dakota. 2008.

LASTORIA, G. **Hidrogeologia da Formação Serra Geral no Estado de Mato Grosso do Sul**. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, p.133, 2002.

LIMA, J. O. G.; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G.; Implicações Hidroquímicas da Condutividade Elétrica e do Íon Cloreto na Qualidade das Águas Subterrâneas do Semiárido Cearense **Revista Virtual de Química**, 2013.

MAIA, C. E. ; Rodrigues, K. K. P.; Lacerda, V. S. Relação entre bicarbonato e cloreto em águas para fins de irrigação. **Revista Irriga**. Botucatu, Edição Especial, p. 206 - 219, 2012.

MAM-Ministério da Agricultura e do Mar. **Água de Qualidade Adequada na Alimentação Animal** DGAV Rev-2. fev 2014; 14/03/2014

MANASSÉS, F. **Caracterização Hidroquímica da Água Subterrânea da Formação Serra Geral na Região Sudoeste do Estado do Paraná**. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MANOEL FILHO, J. **Em Hidrogeologia: conceitos e aplicações**; Feitosa, F. A. C.; Manoel Filho, J., eds.; 2a. ed. CPRM (LABHID-UFPE): Fortaleza, 2000, cap. 6.

_____. Ocorrência das Águas Subterrâneas. In: FEITOSA, F. A. C. e MANOEL FILHO, J. (1997) - Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações. CPRM. cap. 2. 2a ed. p.13-33, 2000.

MARIA, N.; ALBERTO, D. A importância da água na produção de ovos. **Revista Plantar**, n.27, p.34-35. 2009. Disponível em: <http://www.revistaplantar.com.br/vrpress.php?pagina=9&elarg=1028&alt=772>. Acesso em: 01 de jun de 2015.

McGREGOR, B. A. **Water quality and provision for goats**. Australian Government. Rural Industries Research and Development Corporation, p. 19. 2004

MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo “GAT” nos estados do RN, PB e CE**. 1992.163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

MEDEIROS, J. F, de; LISBOA, R. de A.; OLIVEIRA, M. de. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n. p.469-472, 2003.

MENDES, J. S, CHAVES, L. H. G; CHAVES, I, B.; Qualidade de água para consumo humano em comunidades rurais do município de Congo, PB **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 02, p. 333-342, 2008.

MENEZES, P. C.; BERTOSSI, A. P. A.; SANTOS, A. R.; NEVE, M. A.; Qualidade da água subterrânea para consumo humano e uso agrícola no sul do estado do Espírito Santo **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** - REGET v. 17, n. 17, p. 3318 – 3326. 2013

MESTRINHO, Suely Schuartz Pacheco. **Contaminação de águas Subterrâneas**. Material exclusivo para treinamento, Belém/PA. 1998. 35p.

MMA-MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; SRH-SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. PNRH-Plano Nacional de Recursos Hídricos: síntese executiva. Brasília. 2006. 135p.

MOBUS, G. Qualigraf: *software* para interpretação de análises físico-químicas, versão Beta. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Fortaleza, 2003. Disponível em: <<http://www.funceme.br>. Acesso em: 10 de nov de 2015.

MOLLE, F. e CADIER, E. **Manual do Pequeno Açude**. SUDENE/ORSTOM/TAPI, 1992. 523p

NASCIMENTO, M, do S. B.; OLIVEIRA, M. E. Diversidade e uso das plantas nativas. Artigo Técnico. 2005. Disponível em: Acesso em: 06 nov. 2011.

NASCIMENTO, S. A. M.; e JOHILDO S. F. BARBOSA, J. S. F.; Qualidade da Água do Aquífero Freático no Alto Cristalino de Salvador, Bacia do Rio Lucaia, Salvador, Bahia **Revista Brasileira de Geociências** 35 (4): 543-550, Dezembro de 2005.

NING, R. Y.; NETWIG, J. P. Complete elimination of acid injection in reverse osmosis plants. **Desalination**, v. 143, p. 29-34, 2002.

OBIEFUNA, G. I.; SHERIFF, A. Assessment of Shallow Ground Water Quality of Pindiga Gombe Area, Yola Area, NE, Nigeria for Irrigation and Domestic Purposes. **Research Journal of Environmental and Earth Sciences**, v.3, n.2 p.131-141, 2011.

OLIVEIRA, H. A.; BEZERRA, H. N.; ARAÚJO, J. M. S.; TAVARES, L. A. F.; Qualidade de Águas de Poços dos Assentamentos da Chapada do Apodi-RN para o uso na Agricultura **Revista HOLOS**, v.1, p. 64-72. 2013

OLIVEIRA, L. A.; CAMPOS, J.E.G.; Análise da Distribuição dos Parâmetros Físico-Químicos das Águas do Sistema Aquífero Guarani no Estado de Goiás, BRASIL, **Revista Caminhos de Geografia**, 2011.

OLIVEIRA, G. A.; NASCIMENTO, E. L.; ROSA, A. L. D.; LAUTHARTTE, L. C.; BASTOS, W. R.; BARROS, C. G. D.; CREMONESE, E. R.; BENT, A. Q.; OMALM, O.; GEORGIN, J. G.; CORTI, M. Avaliação da Qualidade da Água Subterrânea: Estudo de Caso de Vilhena – RO, **Revista Águas Subterrâneas**, 2015

ORGANIZATION MUNDIAL DE LA SALUD. **Guias para la calidad del agua potable**. 2. ed. Genebra: OMS, v.1,1999.

PARAÍBA. Governo do Estado da Paraíba. Secretaria de Planejamento. Plano Estadual e Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Caracterização Hidrogeológica do Estado da Paraíba. Anexo 2. Campina Grande: SEPLAN/ATECEL, 1994. LSPP. (Convênio FDE-028/93).

PENDLETON, E. W, SCHEIDELER, S. E. Water quality basics for the poultry producer. *Poultry Digest*, Mt. Morris, v.54, n. 1, p. 10-14, 1995.

PERCEBON, C. M.; BITTENCOURT, A. V. L. Considerações sobre as características de qualidade das águas subterrâneas de Blumenau – SC em relação à Resolução CONAMA 396. *Águas Subterrâneas*, v.23, p.69-84, 2009.

PEREIRA, J. R. **Solos Salinos e Sódicos**. In: 15ª Reunião brasileira de fertilidade do solo, Campinas, SP, SBCS, p.127-143, 1983.

PIPER, A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions American Geophysical Union*, 25. p. 914 -923.1944

PNRH - PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. 2006. Panorama e o Estado dos Recursos Hídricos do Brasil - volume 1. Ministério do Meio Ambiente. Brasília.

POHLING, R. **Reações químicas na análise de água**. Fortaleza: editora Arte Visual, 1ª ed. 2009. 20p.

PROJETO CADASTRO DE FONTES DE ABASTECIMENTO POR ÁGUA SUBTERRÂNEA. Diagnóstico do município de Gurjão. 2005.

REBOUÇAS, A. da C.; MARINHO, M. E. Hidrologia das Secas do Nordeste do Brasil, Recife, SUDENE-DNR, Divisão de Hidrologia, 1972.126p.

REBOUÇAS, A. C. 1988. **Groundwater in Brazil**. *Episodes*, v. 11, n. 3, p. 209-214.

RICHARDS, L. A. (ed) *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington, United States Salinity Laboratory, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook; 60).

ROCHA, T. S. **Avaliação da Qualidade das Águas dos Poços Tubulares da Bacia do Rio do Peixe Equipados com Dessalinizadores, com Vistas ao Aproveitamento Econômico dos Sais de Rejeito**. 2008. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2008.

RUNYAN, C.; BADER, J. Water quality for livestock and poultry. In: AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: FAO, 1976. 1994. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 29).

SANTIAGO, M, M, F.; SILVA, C, M. S. V.; FRISCHKORN, H.; FILHO, J, M.; VERÍSSIMO, L,S. **Hidrogeoquímica da Bacia Sedimentar do Cariri, fortaleza**. Setembro de 2007.

SANTOS, A. C. **Noções de Hidroquímica**. In: *Hidrologia: Conceitos e aplicações*. Fortaleza: CPRM/LABHID-UFPE, 1997.

SANTOS, J. P., AZEVEDO, S. G.; MISTRETTA, G. Novos aspectos da salinização das águas subterrâneas do cristalino do Rio Grande do Norte. São Paulo, SP: IPT, 1984.27p. (Comunicação técnica, 314).

SAWYER, C.; MCCARTY, P. L. **Chemistry for environmental engineering**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1987. 532 p.

SAWYER, N. N.; McCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering and science** (5th edn.): McGraw-Hill, New York, 752 p, 2003.

SILVA, F. B. R. e; SANTOS, J. C. P. dos; SOUZA NETO, N. C. de; SILVA, A. B. da; RICHE, G. R.; TONNEAU, J. P.; CORREIA, R. C.; BRITO, L. T. de L.; SILVA, F. H. B. B. da; SOUZA, L. de G. M. C.; SILVA, C. P. da; LEITE, A. P.; OLIVEIRA NETO, M. B. de. **Zoneamento agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico e prognóstico**. Recife: Embrapa Solos, Petrolina: Embrapa Semiárido, 2000. 1 CD-ROM. (Documentos, 14)

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA). **Revista Ciência e Saúde Coletiva** 2003, vol 8,n 04 São Paulo p 1019-1028.

SILVA, S. K. **Sistema de Dessalinização da Comunidade De Uruçu – São João Do Cariri - PB: Análises, Monitoramento e Avaliação de um Misturador para o Uso do Concentrado**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

SOUSA, R. F. de. **Terras agrícolas e o processo de desertificação em municípios do semiárido paraibano**. 2007. 180p.: il. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Campina Grande, 2007.

SOUZA, M. C. F. B. Dissertação **Aspectos hidrodinâmicos e avaliação da qualidade das águas subterrâneas nas sub-bacias do rio Verde Grande, Jequitai e Pacuí – MG** 2016.

SUASSUNA, J. Reporte Brasil. Artigo - **A má distribuição da água no Brasil**. 2004. Disponível em: <http://reporterbrasil.org.br/imprimir.php?escravo=1eid=239> Acessado em: 14-07-2016.

SUDENE, Dados Básicos Climatológicos do Nordeste, Recife-PE, 1984.

SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. Monitoramento dos reservatórios de consumo humano. Disponível em: <http://www.sudema.pb.gov.br/servicos_monitoramento.shtml>. Acesso em: 23 ago. 2006.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Navegar, 2003, 180p.

TRIOLA, F, M. **Introdução à Estatística**, 10 ed. Rio de janeiro, RJ: LTC, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001, 2003. 156p.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RIMA, 2003. 248p.

UCCC-University of California Committee of Consultants. Guidelines for interpretation of water quality for agriculture. Davis: University of California, 1974. 13p. Documento UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: O Manejo dos Recursos Hídricos em Condições de Incerteza e Risco. 2012.

Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002154/215491por.pdf>>. Acesso em: 02 de agosto de 2015.

UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. New York: Van Nostrand Reinhold, 497p. 1969.

VALTORTA, S. E.; GALHARDO, M. R. A.; GREGORTE, R. F. **Efecto de La salinidad sobre El consumo de água de vacas lecheras em lactancia durante períodos cálidos**. In: 28° Congresso Argentino de Producción Animal. Bahía Blanca-Argentina, 2005.

VASCONCELOS, N.S.; NETO, J. D.; MEDEIROS, J.F.; LIMA, C.J.G.S.; Qualidade das Águas Subterrâneas de Área Irrigada da Comunidade de Pau Branco em MOSSORÓ (RN) **Revista HOLOS** v1 , 2013

VERÍSSIMO, L. S. e FEITOSA, F. A. C. Aspectos qualitativos das águas subterrâneas da região de Irauçuba, norte do Estado do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 12., Florianópolis, 2002. **Anais...**Florianópolis: ABAS, 2002. 5p

VIANA F. C. Apontamentos de saneamento. 4. ed. Belo Horizonte (MG): Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária Preventiva, Escola de Veterinária da UFMG, 1978. 57p.

WILLADINO, L.; CAMARA, T.R. **Aspectos fisiológicos do estresse salino em plantas**. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAÚJO, E. L.; WILLADINO, L. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife, 2005. p.118-126.

WILCOX, L. V.; BLAIR, G. Y.; BOWER, C. A. Effect of bicarbonate on suitability of water for irrigation. **Soil Science**, Baltimore, v.77, p.259- 266. 1954.

WHO. Nitrate and Nitrite in Drinking Water. Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organization, WHO Press, 2006. 29p.

APÊNDICE

DESCRIBÇÃO DAS FONTES DE ÁGUA ANALISADAS

PROPRIEDADE	ALTITUDE	LATITUDE SUL			LONGITUDE OESTE			TIPO DE FONTE	USOS
		7°	17'	24,2''	36°	12'	28''		
Sítio Roçado do Mato	493	7°	17'	24,2''	36°	12'	28''	Cata-vento	Animais
Sítio Roçado do Mato	491	7°	17'	23,9''	36°	12'	25''	Bomba elétrica	Animais/Bode
Sítio Santo Antônio	507	7°	16'	25''	36°	13'	35''	Bomba elétrica	Animais
Sítio Santo Antônio	514	7°	16'	21,3''	36°	13'	18''	Bomba elétrica	Animais
Sítio Santo Antônio	510	7°	16'	24,3''	36°	13'	41''	Bomba elétrica	Animais
Sítio Santo Antônio	503	7°	16'	12,6''	36°	13'	51''	Cata-vento	Animais
Sítio Rabicha	471	7°	18'	32,6''	36°	10'	32''	Cata-vento	Animais
Roçado do Mato	486	7°	17'	37,3''	36°	12'	6,5''	Cata-vento	Animais
Lajes	487	7°	17'	57,7''	36°	11'	46''	Cata-vento	Animais/Bode /bovino
Lajes	481	7°	18'	22,9''	36°	11'	53''	Cata-vento	Animais
Fazenda Zezão	490	7°	16'	40,8''	36°	18'	7,9''	Cata-vento	Animais
São Bento	489	7°	16'	56,5''	36°	17'	35''	Cata-vento	Animais
São Bento	477	7°	16'	42,2''	36°	17'	1''	Cata-vento	Animais
São Bento	487	7°	16'	36,3''	36°	17'	20''	Cata-vento	Animais
Fazenda Riachão	499	7°	16'	25''	36°	18'	40''	Bomba elétrica	Animais
Malhadinha	516	7°	11'	44,1''	36°	12'	52''	cata-vento	Animais
Malhadinha	544	7°	12'	1,8''	36°	10'	56''	bomba elétrica	Animais
Malhadinha	538	7°	11'	32,4''	36°	11'	5,3''	compressor	Animais
Malhadinha	541	7°	11'	27,1''	36°	11'	9,8''	cata-vento	Animais
Malhadinha	538	7°	11'	34,8''	36°	11'	7,2''	bomba elétrica	Animais
Malhadinha	535	7°	11'	15''	36°	11'	4,1''	bomba elétrica	Animais
Malhadinha	536	7°	11'	5,9''	36°	11'	9,4''	Cata-vento	Animais
Mônica	533	7°	10'	56,1''	36°	11'	28''	Cata-vento	Animais
Mônica	538	7°	10'	39,2''	36°	11'	6,5''	Cata-vento	Animais
Malhadinha	505	7°	12'	5,5''	36°	13'	20''	Bomba elétrica	Animais
Poço de Pedra	469	7°	19'	8''	36°	18'	56''	Bomba elétrica	Ovelha bode, bovino
Poço de Pedra	478	7°	18'	39,3''	36°	19'	1,2''	Bomba submersa	Animais
Raimundo	485	7°	17'	17''	36°	18'	17''	Cata-vento	Animais
Raimundo	485	7°	17'	14,2''	36°	18'	13''	Cata-vento	Animais
Caluête	492	7°	14'	1,1''	36°	8'	21''	bomba elétrica	Animais

Caluête	487	7°	14'	1,6''	36°	7'	60''	Cata-vento	Animais
Monte Alegre	547	7°	12'	40''	36°	4'	19''	Cata-vento	Animais
Caluête	482	7°	15'	4''	36°	8'	40''	Cata-vento	Animais
Caluête	498	7°	14'	56,4''	36°	9'	12''	Cata-vento	Animais
Caluête	483	7°	15'	6,8''	36°	9'	0,1''	Cata-vento	Animais
Fazenda Zezão	488	7°	16'	48''	36°	18'	14''	Bomba elétrica	Animais
Poço de Pedra	471	7°	19'	8,8''	36°	18'	59''	Bomba elétrica	Animais
Poço de Pedra	475	7°	20'	30,8''	36°	18'	45''	Bomba submersa	Animais
Marquinho	581	7°	10'	11,5''	36°	6'	14''	Cata-vento	Animais
Sítio Mônica	568	7°	11'	28,8''	36°	9'	37''	Bomba elétrica	Animais
Sítio Mônica	571	7°	11'	30,7''	36°	9'	22''	Cata-vento	Animais galinha e porco cozinhar
Sítio olho d'água	555	7°	11'	13,9''	36°	6'	25''	Cata-vento	
Parque Ivel	532	7°	11'	18''	36°	11'	11''	Bomba elétrica	Residência
Parque Ivel	536	7°	11'	19,4''	36°	11'	17''	Cata-vento	
Sítio olho d'água	546	7°	11'	45,8''	36°	6'	46''	Cata-vento	Peixe guaru
	568	7°	17'	57,3''	36°	17'	29''	Cata-vento	Animais
Riacho fundo/caluête		7°	13'	51,4''	36°	11'	4,3''	Cata-vento	Animais
Sítio Bravo	478	7°	21'	12,7''	36°	14'	37''	Bomba elétrica	Animais
Sítio Bravo	491	7°	20'	38''	36°	14'	23''	Cata-vento	Animais
Sítio Bravo	487	7°	20'	46,3''	36°	14'	30''	Bomba elétrica	Animais
Sítio Bravo	472	7°	21'	14,9''	36°	14'	15''	Cata-vento	Animais
Sítio Bravo	470	7°	21'	37''	36°	14'	6,7''	Bomba elétrica	Animais
Sítio Bravo	469	7°	21'	38,3''	36°	14'	16''	Bomba elétrica	Animais
Sítio Bravo	480	7°	21'	32,1''	36°	14'	34''	Bomba elétrica	Animais
Sítio Bravo	479	7°	21'	14,3''	36°	14'	29''	Bomba elétrica	Animais
Sítio Bravo	431	7°	22'	1,6''	36°	14'	22''	Cata-vento	Animais
Sítio Bravo	490	7°	20'	44,1''	36°	14'	32''	Cata-vento	Animais
Cachoeirinha	495	7°	15'	49,1''	36°	13'	36,23''	Bomba elétrica	Animais
Cachoeirinha	471	7°	18'	28''	36°	19'	17''	Cata-vento	Animais
Cachoeirinha	496	7°	16'	21,5''	36°	11'	38''	Cata-vento	Animais
Cachoeirinha	480	7°	17'	42,1''	36°	17'	20''	Cata-vento	Animais
Cachoeirinha	599	7°	15'	49,4''	36°	13'	38''	Cata-vento	Animais

Riachão dos Bernardinos	490	7°	14'	57,6''	36°	18'	28''	Bomba elétrica	Animais
São Bento	496	7°	15'	35,1''	36°	15'	25''	Bomba elétrica	Animais
São Bento	496	7°	15'	25,4''	36°	15'	15''	Cata-vento	Animais
Santa Rosa	511	7°	13'	31,2''	36°	13'	6,5''	Cata-vento	Animais
Santa Rosa	507	7°	13'	13,5''	36°	14'	17''	Cata-vento	Animais
Santa Rosa	499	7°	13'	59''	36°	14'	21''	Cata-vento	Animais
Matumbo	494	7°	15'	18,1''	36°	14'	28''	Bomba elétrica	Animais
Matumbo	494	7°	15'	21,8''	36°	14'	32''	Bomba elétrica	Animais
São Bento	490	7°	15'	10,3''	36°	16'	32''	Cata-vento	Animais
São Bento poço 2/poço seco	500	7°	14'	47,8''	36°	17'	31''	Compressor	Animais
Poço de juá	498	7°	13'	51,5''	36°	19'	4,1''	Compressor	Animais
Poço de juá		7°	14'	22,88''	36°	8'	22''	Cata-vento	Animais
Poço de juá	506	7°	11'	6,1''	36°	11'	26''	Cata-vento	Animais