



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA
MESTRADO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

AYSLANN TÔDAYOCHY SIQUEIRA DE ANDRADE

**SALINIZAÇÃO SECUNDÁRIA EM SOLOS DO DISTRITO IRRIGADO DO BAIXO-
AÇU, EM ALTO DO RODRIGUES/RN**

MOSSORÓ - RN

2019

AYSLANN TÔDAYOCHY SIQUEIRA DE ANDRADE

**SALINIZAÇÃO SECUNDÁRIA EM SOLOS DO DISTRITO IRRIGADO DO BAIXO-
AÇU, EM ALTO DO RODRIGUES/RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Impactos Ambientais pelo Uso do Solo e da Água

Orientador: Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho.

MOSSORÓ - RN

2019

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

A553s Andrade, Ayslann Tôdayochy Siqueira de.
Salinização Secundária em Solos do Distrito Irrigado do Baixo-Açu, em Alto do Rodrigues/RN / Ayslann Tôdayochy Siqueira de Andrade. - 2019.
81 f. : il.

Orientador: Luis César de Aquino Lemos Filho.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2019.

1. Solos Agrícolas. 2. Irrigação. 3. Semiárido Brasileiro. 4. Microbacia Hidrográfica. I. Lemos Filho, Luis César de Aquino, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

AYSLANN TÔDAYOCHY SIQUEIRA DE ANDRADE

**SALINIZAÇÃO SECUNDÁRIA EM SOLOS DO DISTRITO IRRIGADO DO BAIXO-
AÇU, EM ALTO DO RODRIGUES/RN**

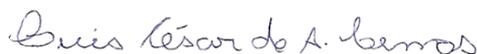
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Manejo de Solo e Água.

Linha de Pesquisa: Impactos Ambientais pelo Uso do Solo e da Água

Orientador: Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho.

Defendida em: 21 / 02 / 2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho (UFERSA)
Presidente



Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista (UFERSA)
Membro examinador



Prof. Dr. Nildo da Silva Dias (UFERSA - Externo ao programa)
Membro examinador



Dr. Ketson Bruno da Silva (Prefeitura Municipal do Assú)
Membro examinador

Dedico este trabalho aos meus avós **José Batista** e **Sebastiana Siqueira**, bem como a minha mãe **Francisca Josivânia**, e a minha tia **Janeth Siqueira**, pelo incessante apoio a minha formação acadêmica, sempre manifestando muito amor e carinho para comigo.

AGRADECIMENTOS

Ao nosso senhor **Jesus Cristo**, pela sua infinita graça, bondade e misericórdia, pois sem **Ele** jamais teria chegado onde cheguei. Agradeço pelo grande amor que Ele tem por mim, por ser presente em todos os momentos, nunca deixando que eu desmotivasse em meio a árdua caminhada. Agradeço pela força que **Ele** tem me dado, bem como a proteção em meio as adversidades e por mais uma vez ter alcançado a vitória.

Agradeço de coração aos meus avós, **Sebastiana Siqueira de Araújo** e **José Batista de Araújo**, por acreditar incessantemente em minha pessoa, por terem me educado com sabedoria, sempre ensinado os caminhos em que se deve andar. A eles serei eternamente grato, pois sem a ajuda deles, eu não poderia chegar onde cheguei. Agradeço a compreensão, o amor, o carinho, as palavras de ânimo. E sei que esta conquista é deles também.

À minha querida mãe, **Francisca Josivânia Siqueira de Araújo**, por ser minha base de sustentação, minha inspiração. Agradeço por ser mais que minha mãe, por ser minha companheira, amiga, conselheira, além de ser exemplo de uma pessoa guerreira. Agradeço a Deus pela sua vida, pois não imagino pessoa melhor para ser minha mãe do que ela.

A minha namorada, **Andréa Carla**, pelo amor, carinho, paciência e apoio incessante desde o início dessa jornada, me ajudando sempre quando mais necessitei. Agradeço imensamente a Deus por ter te colocado no meu caminho.

À minha tia, **Janeth Siqueira de Araújo**, por todos esses anos de apoio, carinho, amor, paciência, e por sempre torcer por mim. Sou grato eternamente por tudo que ela fez para e por mim.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Luis César de Aquino Lemos Filho**, por todo o conhecimento transmitido, pelo empenho, incentivo e por toda a ajuda dada na construção deste trabalho. Sou grato pela paciência, pela compreensão, pela sua competência quanto professor e orientador, pela disponibilidade em me orientar e por acreditar em mim.

À toda minha família, que direta ou indiretamente, contribuíram e/ou torceram pelo meu sucesso.

Aos meus amigos **Drika Freire, Davi Nicolas e Thaís Cristina**, por todo apoio, palavras de ânimo e ajuda na construção desse trabalho.

Aos professores **Rafael Oliveira Batista, Nildo da Silva Dias e Stefeson Bezerra de Melo**, pela disponibilidade em sempre me ajudar quando necessitei.

Aos meus amigos do grupo de pesquisa RENAS, **Mateus Pessoa, Vanessa Tainara e Cleiton**, que se dispuseram a ajudar nas coletas e análises laboratoriais. Vocês foram de fundamental importância para o desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus estimados amigos do PPGMSA, **Maria Elidayane, Rutilene Rodrigues, Lunara Gleika, Lizandra Evelylyn, Plínia Medeiros, Nilson Oliveira, Camilo Trindade e Jacques Filho**, pelo companheirismo e suporte durante todo esse tempo de curso. Obrigado por todo carinho e apoio que me foi dado.

À Banca Examinadora pela rica contribuição na construção e melhoramento deste trabalho

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) e ao Laboratório de Análise de Água, Solo e Planta do Semiárido (LASAPSA), por toda a estrutura necessária para a realização deste trabalho.

Aos laboratoristas **Paula Cavalcante, “Seu” Elídio e Antônio**, por toda a contribuição e auxílio nas análises laboratoriais para a realização desse trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro ao longo da trajetória de curso.

À Associação Universitária Vale do Açu, pelo ótimo trabalho desenvolvido, transportando os estudantes da cidade do Assu, até as universidades em Mossoró, dando oportunidades para que pessoas, assim como eu, possam alcançar suas metas e realizar seus sonhos.

Aos meus amigos da Segunda Igreja Batista da Convenção em Assu, por todas as orações e apoio.

“A persistência é o caminho do êxito”.

Charlie Chaplin

RESUMO

O Distrito Irrigado do Baixo-Açu (DIBA), é uma área agrícola de grande importância para a fruticultura irrigada do estado do Rio Grande do Norte, principalmente, no que diz respeito a produção de banana. Entretanto, devido às características climáticas da região, já que a referida área está sob o clima semiárido, onde há altas taxas de evapotranspiração potencial e baixas taxas de precipitação pluviométrica, ao manejo inadequado da irrigação e a utilização de águas para irrigação de qualidade inferior, tem contribuído para o processo de salinização dos solos, afetando o crescimento de determinadas culturas, refletindo, conseqüentemente, na produtividade das áreas. Deste modo, o objetivo desse trabalho foi avaliar o processo de salinização secundária dos solos em uma microbacia hidrográfica no Distrito Irrigado do Baixo-Açu/RN, bem como o comportamento dos sais ao longo dos perfis dos solos analisados. Foram realizadas coletas de solos, nos meses de maio, julho e setembro de 2018, em cinco lotes (Lote 1, 2, 3, 4 e Mata Nativa (MN)), selecionadas de acordo com a altitude, em uma microbacia hidrográfica, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, para o procedimento das análises físicas (granulometria, densidade do solo e densidade de partícula) e químicas (pH, CE_{es} , P, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CTC, SB, PST). Além disso, foram realizadas coletas de água, em seis pontos (P1, P2, P3, P4, P5 e P6) distintos na microbacia hidrográfica, no mesmo período em que ocorreram as coletas de solo, para determinação das análises químicas (CE, pH, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , CO_3^{2-} e HCO_3^-). Os dados foram submetidos à estatística descritiva como média, desvio padrão, valor máximo e valor mínimo. Já, os resultados das análises químicas do solo, foram submetidos à estatística multivariada, como matriz de correlação, análise fatorial, análise de agrupamento e análise de comportamentos principais. Os resultados indicaram que, ao longo do período em que se deu o estudo, ocorreu acúmulo de sais no solo, em todos os lotes analisados, sendo a camada de 0-20 cm a mais afetada pelos sais. As maiores concentrações de sais no solo ocorreram no final do período seco (novembro). Todos os lotes analisados foram classificados como solos normais, a exceção se deu para o lote 4, que foi classificado como solo salino, comprovando o que foi observado em campo, sendo necessária a adoção de sistema de drenagem e a lavagem dos sais. Os íons que contribuíram de forma mais significativa para a salinização dos solos foram o Na^+ e o Mg^{2+} , os parâmetros de pH e PST, também, exerceram forte influência.

Palavras-chave: Solos Agrícolas. Irrigação. Semiárido Brasileiro. Microbacia Hidrográfica.

ABSTRACT

The Irrigated District of Baixo-Açu (DIBA) is an agricultural area of great importance for irrigated fruit growing in the state of Rio Grande do Norte, mainly in banana production. However, due to the climatic characteristics of the region, since the area is under semi-arid climate, where there are high rates of potential evapotranspiration and low rainfall rates, inadequate management of irrigation and the use of irrigation water of inferior quality, has contributed to the process of salinization of soils, affecting the growth of certain crops, reflecting, consequently, the productivity of the areas. Thus, the objective of this work was to evaluate the secondary salinization process of the soils in a watershed in the DIBA, as well as the behavior of the salts along the profiles of the analyzed soils. Soil samples were collected in five areas (Lot 1, 2, 3, 4 and Mata Nativa (MN)) in May, July and September of 2018, selected according to altitude, in a watershed, in the 0-20 and 20-40 cm soil layers, for the procedure of the physical analyzes (particle size, soil density, particle density) and chemical analyzes (pH, CE_{es} , P, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CTC, SB, PST). In addition, water samples were collected at six distinct points (P1, P2, P3, P4, P5 and P6) in the watershed, during the same period in which the soil samples were collected, to determine the chemical analyzes (CE, pH, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , CO_3^{2-} e HCO_3^-). Data were submitted to descriptive statistics as mean, standard deviation, maximum value and minimum value. Therefore, the results of soil chemical analyzes were submitted to multivariate statistics, such as correlation matrix, factorial analysis, cluster analysis and analysis of main behaviors. The results indicated that, during the period of study, accumulation of salts in the soil occurred in all lots analyzed, which the 0-20 cm layer being the most affected by the salts. The highest concentrations of salts in the soil occurred at the end of the dry period (November). All lots analyzed were classified as normal soils, except for lot 4, which was classified as saline soil, proving what was observed in the field, being necessary the adoption of drainage system and the washing of salts. The ions that contributed most to the soil salinization were Na^+ and Mg^{2+} , pH and PST exerted a strong influence as well.

Keywords: Agricultural Soils. Irrigation. Brazilian Semi-Arid. Watershed.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Delimitação, em cor laranja, da região semiárida no Brasil.	3
Figura 2. Distribuição dos perímetros irrigados pelo Brasil.....	7
Figura 3. Irrigação por superfície: sistema de sulcos (à esquerda) e sistema de inundação (à direita).....	10
Figura 4. Irrigação por aspersão: convencional (à esquerda) e mecanizada por pivô central (à direita).....	11
Figura 5. Irrigação localizada: gotejamento (à esquerda) e microaspersão (à direita).	12
Figura 6. Irrigação por subsuperfície: subterrânea (à esquerda) e mesas de subirrigação (à direita).....	13
Figura 7. Classificação dos impactos negativos advindos da irrigação.....	18
Figura 8. Mapa de localização e magnitude da bacia hidrográfica estudada no Distrito Irrigado do Baixo-Açu (DIBA).	22
Figura 9. Mapa de uso e ocupação da bacia hidrográfica estudada.....	23
Figura 10. Mapa de localização dos pontos amostrais de solo e da hipsometria da micro bacia hidrográfica estudada.....	24
Figura 11. Triângulo textural para a classificação dos solos quanto a granulometria.....	25
Figura 12. Coleta de amostras de solo com auxílio de um trado tipo holandês.	26
Figura 13. Coleta de solo utilizando anel volumétrico para amostra indeformada.	28
Figura 14. Extrator de placa porosa.....	31
Figura 15. Mapa de localização dos pontos amostrais de água na micro bacia hidrográfica estudada.	32
Figura 16. Presença da planta Pirrixiu e de manchas esbranquiçadas na superfície do Lote 4, localizado no DIBA.	42
Figura 17. Área de Mata Nativa com a presença da caatinga hiperxerófila no DIBA/RN.	43
Figura 18. Imagem do P3 (Dreno), onde apresentou maiores teores de sais.....	47
Figura 19. Diagrama de classificação de águas para irrigação elaborada por Richards (1954).	48
Figura 20. Dendrograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples.	53
Figura 21. Distribuição das variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre os fatores 1 e 2 (B).	57
Figura 22. Distribuição das variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre os fatores 1 e 3 (B).	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Métodos de irrigação e seus principais sistemas.	9
Tabela 2. Classificação de solos afetados por sais.	30
Tabela 3. Riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água.	33
Tabela 4. Concentrações de íons em água e respectivos riscos de toxicidade as plantas.	34
Tabela 5. Granulometria e classificação do solo para os lotes localizados no DIBA.	35
Tabela 6. Densidade do solo (DS), em g cm^{-3} , para diferentes lotes e duas profundidades.	36
Tabela 7. Densidade de partícula em kg cm^{-3} , para diferentes lotes e duas profundidades.	37
Tabela 8. Resultado das análises químicas para os indicadores de salinização dos solos, para os meses de maio, julho e setembro de 2018.	38
Tabela 9. Resumo da classificação dos solos analisados segundo a metodologia proposta por Bohn et al. (1985).	40
Tabela 10. Resultado das análises químicas da água bruta para os meses de maio, julho e setembro de 2018.	44
Tabela 11. Matriz de correlação por Pearson entre as variáveis dos atributos químicos do solo nas áreas em estudo no DIBA-RN.	52
Tabela 12. Eixos fatoriais extraídos para atributos de solos e as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
Ca ²⁺	Cálcio
CE	Condutividade Elétrica
Cl ⁻	Cloreto
CO ₃ ²⁻	Carbonato
Codevasf	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra Secas
DIBA	Distrito Irrigado Baixo-Açu
DINC	Distrito de Irrigação Nildo Coelho
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
H ⁺ + Al ³⁺	Acidez Potencial
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
K ⁺	Potássio
LASAP	Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta
Mg ²⁺	Magnésio
Na ⁺	Sódio
P	Fósforo
PET	Poliestireno Tereftalato
pH	Potencial Hidrogeniônico
PST	Porcentagem de Sódio Trocável
RAS	Razão de Adsorção de Sódio
SB	Soma de Bases
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
TFSE	Terra Fina Seca em Estufa
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 SEMIÁRIDO BRASILEIRO	3
2.2 ESCASSEZ HÍDRICA.....	4
2.3 PERÍMETROS IRRIGADOS	6
2.4 IRRIGAÇÃO	8
2.4.1 Métodos de irrigação	9
2.4.1.1 Irrigação por superfície.....	9
2.4.1.2 Irrigação por aspersão.....	10
2.4.1.3 Irrigação localizada.....	11
2.4.1.4 Irrigação por subsuperfície	12
2.4.2 Qualidade das águas para fins de irrigação	13
2.4.3 Manejo da irrigação	15
2.4.4 Impactos da irrigação.....	16
2.5 SALINIZAÇÃO DOS SOLOS.....	18
2.5.1 Origem dos sais	19
2.5.2 Salinização Primária	19
2.5.3 Salinização secundária	20
2.5.4 Efeito dos sais.....	20
3 MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA	22
3.2 CAMPANHAS DE COLETA DE SOLO	23
3.3 CARACTERIZAÇÃO E COLETA DO SOLO UTILIZADO NA PESQUISA.....	24
3.4 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO	25
3.4.1 Distribuição e tamanho das partículas minerais do solo – granulometria.....	25
3.4.2 Densidade do solo	26

3.4.3 Densidade de partícula.....	28
3.5 ATRIBUTOS QUÍMICAS DO SOLO.....	29
3.6 CARACTERIZAÇÃO E COLETA DA ÁGUA UTILIZADA NA PESQUISA.....	31
3.6.1 Atributos químicos da água.....	32
3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	35
4.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	38
4.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DA ÁGUA.....	44
4.4 ANÁLISE DA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA.....	51
5 CONCLUSÕES.....	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Após a revolução industrial, em meados dos séculos XVIII e XIX, o mundo tem vivenciado um crescimento acelerado da população. Este crescimento traz consigo uma maior procura por bens de consumo, água e alimentos. Atrelado a isto, a necessidade de maior produção de alimentos, fez-se expandir pelo mundo as áreas irrigadas, especialmente nas zonas áridas e semiáridas, aonde existe déficit hídrico. Nestas regiões, não há disponibilidade suficiente de águas superficiais para irrigação, forçando muitos produtores a usarem água subterrâneas salinas ou salobras, por exemplo (Cordani & Taioli, 2008; Dias & Blanco, 2010).

Entretanto, uso inadequado destas águas na irrigação, bem como a expansão das áreas irrigáveis, tem gerado alguns problemas de degradação dos recursos naturais, como a salinização e a sodicidade do solo. Estes problemas são mais comuns em regiões áridas e semiáridas, pois são caracterizadas por elevadas temperaturas, fazendo com que ocorra altas taxas de evapotranspiração potencial e baixas taxas de precipitações pluviométricas, podendo não ocorrer a lixiviação de sais das camadas do solo, contribuindo assim, para a acumulação de sais no solo e na zona radicular das plantas, podendo, esses sais, acumular-se no solo em concentrações prejudiciais ao desenvolvimento de culturas menos tolerantes (Cordani & Taioli, 2008; Dias & Blanco, 2010).

O incremento de sais no solo pode ocorrer de forma natural, também chamada de salinização primária, como o intemperismo mineral, os sais fósseis, que são oriundos de remanescentes marinhos, e a precipitação atmosférica. Porém, o incremento de sais no solo pode ocorrer, também, pelas atividades antrópicas, conhecida como salinização secundária, como a utilização de água salina ou salobra; elevação do lençol freático próximo zona radicular das plantas; manejo inadequado da irrigação; e, de águas residuárias. Entretanto, em ambos os casos, naturais ou antrópicos, ocorre a adição de sais solúveis como o Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , podendo acumular-se em um ou mais horizontes do solo, contribuindo para o processo de salinização dos mesmos. (Ayres & Westcot, 1999; Bohn et al., 1985; Ribeiro, 2010).

Os solos que são afetados por sais são chamados de solos halomórficos, e, geralmente, são classificados segundo dois critérios o conteúdo total de sais solúveis e a percentagem de sódio trocável. Entretanto, recomenda-se o uso da Condutividade do Extrato de Saturação (CE_{es}), devido ser um método simples e rápido para se determinar o total de sais disponíveis do solo (Ribeiro et al., 2016). Segundo Ferreira et al. (2016), os solos podem ser classificados em salinos, quando o acúmulo de sais causa estresse osmótico às plantas; sódicos, quando a relação de sódio trocável é alta; e, salino-sódicos, quando ambas as condições, acima citadas, ocorrem simultaneamente.

A água utilizada na irrigação, pode, também, ser considerada um dos principais fatores causadores da salinização dos solos, pois, é por meio dessa, que os sais são carregados, e depositados no solo. Segundo Hanson et al. (2006), toda água de irrigação contém sais minerais dissolvidos, porém o que irá variar será a composição e a concentração destes, em virtude da fonte de captação de água e da época do ano. Por isso, é de grande importância o conhecimento dos atributos físico-químicos das águas que serão utilizadas na irrigação, visto que, a alta salinidade da água reduz o crescimento das plantas, devido ao efeito osmótico, e ainda pode impactar a estrutura do solo, quando há acúmulo de sódio adsorvido, se não forem adotadas práticas de manejos especiais, a fim de manter os rendimentos aceitáveis. Quando há acúmulo de sais solúveis na zona radicular das plantas, pode haver perdas de rendimentos em culturas sensíveis devido à seca fisiológica causada pela redução do potencial osmótico da solução do solo e, ainda pelos efeitos de toxicidades de íons, o que irá refletir na produtividade, e conseqüentemente, na geração de renda (Ayers & Westcot, 1999), principalmente nos perímetros irrigados da região semiárida brasileira, já que são importantes fontes para a economia dessa região.

Diante dos problemas apresentados, se faz necessário a adoção de medidas de controle dos problemas ocasionados pela salinidade, tais como lavagem dos sais e o uso de sistemas de drenagem, estas podem ser adotadas separadamente ou em conjunto com alguma outra prática cultural. Segundo Ayers & Westcot (1999), a drenagem, a lixiviação e a substituição de uma cultura por outra mais tolerante a salinidade, são exemplos de práticas para evitar o acúmulo de sais na zona radicular a longo prazo e afetar o rendimento das culturas.

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo geral avaliar a evolução da salinização secundária dos solos e as principais fontes de sais em uma microbacia hidrográfica, localizada no Distrito Irrigado do Baixo-Açu/RN (DIBA). Como objetivos específicos, apresentam-se: a) quantificar a contribuição da água de irrigação na salinidade de áreas irrigadas no baixo-Açu; b) determinar através estatística multivariada quais íons contribuem de forma mais significativa para a salinização do solo do DIBA; c) realizar recomendações técnicas para minimização dos problemas da salinização com base no diagnóstico; e d) identificar visualmente, os problemas relacionados à salinidade dos solos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O semiárido brasileiro (Figura 1), compreende grande parte da região Nordeste do país, e parte do estado de Minas Gerais, ocupa cerca de 57% de todo território nordestino e 18,27% de todo o território nacional, possui uma extensão de 1.561.177,8 km². Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2018), nesta região vivem, aproximadamente, 23 milhões de pessoas, ao passo que a população nordestina é de 53 milhões, o que faz dessa região um dos locais, sob influência do clima semiárido, mais habitadas do mundo. É importante citar que, uma parcela significativa da população, cerca de 8,6 milhões, que vive no semiárido brasileiro, está localizada na zona rural, contribuindo para baixos índices de qualidade de vida, alta vulnerabilidade social e econômica, com índices bem abaixo da média nacional (Araújo, 2011).

Figura 1. Delimitação, em cor laranja, da região semiárida no Brasil.



Fonte: SUDENE (2017).

O semiárido brasileiro se caracteriza como o um dos mais chuvosos do planeta, onde a pluviosidade alcança, em média, índices de 750 mm/ano, porém dentro da própria região há locais onde as precipitações pluviométricas superam 800 mm/ano e regiões onde a ocorrência

de precipitações pluviométricas é bem menor, 250 mm/ano, além disso, a escassez, a alta variabilidade espacial e temporal das precipitações pluviométricas, faz com que, esta região, esteja susceptível a eventos de seca. Outro fator bastante limitante nesta região é o solo, onde o mesmo é considerado raso, e frequentemente apresentam rochas cristalinas, o que impede e/ou dificulta o armazenamento de água em subsuperfície, fazendo com que a captação da água pluvial e seu armazenamento sob o solo, seja uma das técnicas mais utilizadas para estocar este recurso (Malvezzi, 2007).

Apesar de ser uma região bastante escarça em recursos hídricos, devido à alta evapotranspiração e a baixa precipitação pluviométrica, no semiárido nordestino é possível a observância de práticas que comprometem a qualidade das águas superficiais e/ou subterrâneas, como a aplicação de agrotóxicos, fertilizantes, a utilização errônea dos sistemas de irrigação, bem como a aplicação incorreta da lâmina de água para irrigar as culturas, o desmatamento, as queimadas, dentre outros. Tais práticas levam a eutrofização dos corpos hídricos, através do acréscimo, principalmente, de fósforo (P) e nitrogênio (N), a contaminação por metais pesados, a salinização, além de afetar o solo, causando, por exemplo, a erosão e a improdutividade dos mesmos (EMBRAPA, 2018; Malvezzi, 2007).

A agricultura no Nordeste do Brasil, sempre foi bastante difícil, visto a dificuldade quanto aos períodos de estiagem, que é observada, principalmente, no interior desta região, fazendo com que as áreas produtivas estivessem concentradas no litoral e em uma faixa de transição (entre o litoral e o sertão) denominada agreste, onde existe larga produção de cana-de-açúcar, algodão, dentre outras culturas. Entretanto, aquela região que apresentava baixas produções agrícolas, conseguiu alavancar sua economia, com o surgimento da agricultura irrigada e da implantação, por meio do Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS), dos perímetros irrigados, permitindo ao semiárido nordestino avançar na produção de frutas como banana, manga, coco, acerola, uva, goiaba, melão dentre outros. Todavia, ainda é muito forte a agricultura de sequeiro (realizada no período chuvoso), onde se planta, geralmente, milho e feijão (EMBRAPA, 2018; Silva, 2016).

2.2 ESCASSEZ HÍDRICA

A água é um elemento natural de extrema importância para a manutenção da vida de todos os seres vivos, é um recurso finito, cobrindo, aproximadamente, 70% da superfície terrestre. Porém, apesar da sua abundância, a porcentagem que está disponível para o consumo é de apenas 3%, sendo bastante má distribuída ao redor do globo terrestre, fazendo com que poucos países detenham uma quantidade bastante significativa da mesma, enquanto que em

outros a quantidade disponível, deste elemento, é bastante reduzida (ANA, 2015; Jacobi & Grandisoli, 2017).

A má distribuição, a poluição, o crescimento populacional e as mudanças climáticas, bem como a falta de fiscalização, obras para melhorar o abastecimento, a fim de reduzir as perdas, a falta de políticas públicas e de educação ambiental para com a população, são exemplos dos entraves que acabam provocando a escassez hídrica, fazendo com que os reservatórios também sofram com problemas na sua qualidade, afetando, inclusive, a sua disponibilidade. Diante disso, é importante que os países mudem suas visões no que se diz respeito a exploração dos recursos naturais, onde o uso predatório e abusivo dos mesmos está pautado (Jacobi & Grandisoli, 2017).

Uma das maiores reservas hídricas do mundo está localizada no Brasil. O país detém, aproximadamente, 13% da água doce disponível do planeta, onde a vazão média chega a ser de $182.633 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Esta água é utilizada nas mais diversas atividades humanas como uso doméstico, industrial, irrigação, dessedentação animal, dentre outros. Porém, o Brasil ainda não possui grandes investimentos em sistemas de tratamento de água, bem como de tratamento e disposição final de resíduos sólidos e líquidos, o que acaba, por sua vez, afetando os corpos hídricos, alterando suas características e qualidade. Outro problema é a educação ambiental para com a população, onde a mesma, segundo Olivo & Ishiki (2014), por uma questão cultural, acabam por desperdiçar grandes volumes de água, por entenderem, erroneamente, que a mesma é um recurso infinito. A irrigação mal executada e/ou dimensionada, também contribui de forma significativa no desperdício de água, já que o percentual de consumo deste recurso é elevado chegando a, aproximadamente, 70% (ANA, 2015; Jacobi & Grandisoli, 2017).

A região Norte, possui cerca de 70% da reserva hídrica do país, porém é uma das regiões menos habitadas, ou seja, a densidade populacional é a menor entre todas as regiões do país, o que contrasta com a região Nordeste, onde a mesma possui cerca de 30% da população brasileira, e a menor disponibilidade hídrica, aproximadamente 5%, isso se dá devido ao clima semiárido ao qual a região está submetida, onde há maior evapotranspiração e menores índices de precipitação pluviométrica. Já as regiões Sul e Sudeste, concentram cerca de 60% da população e dispõem de, aproximadamente, 13% da água doce disponível (ANA, 2002; ANA, 2015; Malvezzi, 2007; Olivo & Ishiki, 2014).

É evidente que a região Nordeste do Brasil, principalmente a região semiárida, é a mais crítica, em relação a disponibilidade hídrica, sendo o uso dos açudes uma ferramenta de fundamental importância na manutenção das atividades humanas nos períodos secos. Diante disso, se faz necessário o planejamento e o gerenciamento dos açudes, a criação dos Comitês de bacias, dentre outros (Garjulli, 2003). Porém, o referido autor ainda relata que, se as ações

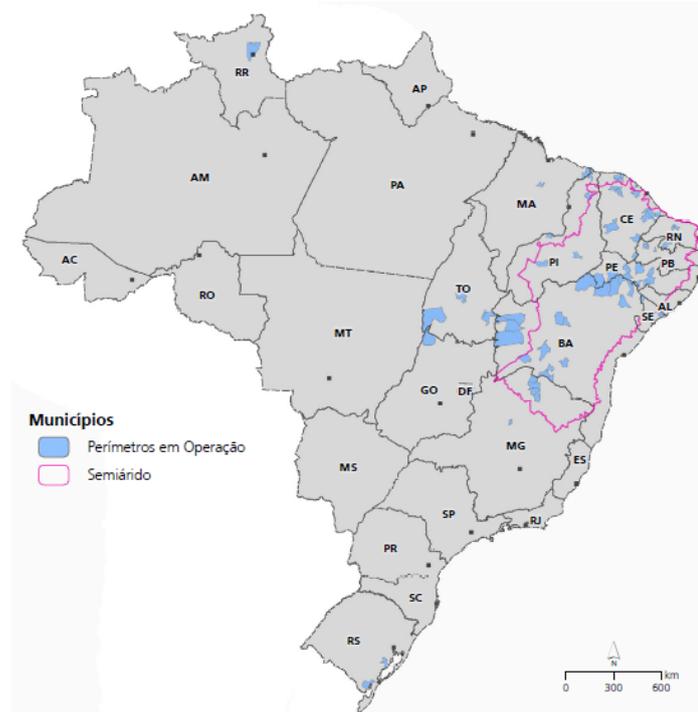
governamentais não implicarem em mudanças estruturantes a situação de escassez continuará presente, comprometendo assim o potencial econômico da região. Silva et al. (2014), citam que a qualidade da água é bastante influenciada pelos efeitos naturais e antropogênicos como clima, geologia, práticas agrícolas, dentre outras, principalmente as águas subterrâneas que, em muitos lugares, são a principal fonte de água para diversos fins, entretanto o uso dessa fonte hídrica pode representar risco de salinização dos solos. Santos et al. (1984), também afirmam que tipo de solo influencia bastante na salinidade das águas, principalmente da região do cristalino, no nordeste do Brasil, onde as mesmas podem apresentar elevadas concentrações de sais.

2.3 PERÍMETROS IRRIGADOS

Os perímetros irrigados, principalmente, no Nordeste brasileiro, tiveram seu crescimento acelerado a partir da década de 1980, e foram resultados de vários investimentos, como por exemplo em infraestrutura hídrica, a fim de atrair diversas empresas para impulsionar a agricultura na região e, conseqüentemente, a economia local (ANA, 2017). Segundo dados da ANA (2017), no ano de 2006, a região ultrapassou 1 milhão de hectares irrigados.

Os perímetros irrigados, em sua maior parte, são de responsabilidade do Ministério da Integração, do DNOCS ou da Codevasf, e são mais notados na região semiárida brasileira (Figura 2), onde, mesmo após as suas implantações, ainda permanecem como importantes obras e se caracterizam por ter um impacto profundo no balanço hídrico da região (baixa disponibilidade hídrica), além da produção de várias culturas. Ao todo, nesta região, existem 79 projetos de distritos irrigados, distribuídos em 88 municípios, o que perfaz uma área de 218,8 mil ha (ANA, 2017).

Figura 2. Distribuição dos perímetros irrigados pelo Brasil.



Fonte: Adaptado de ANA (2017).

Os perímetros irrigados são de fundamental importância na geração de emprego e renda para a região Nordeste do Brasil. Segundo dados da ANA (2017), estima-se que a cada 100 ha irrigados sejam gerados, aproximadamente, 116 empregos diretos e 172 indiretos, ou seja, os perímetros irrigados são responsáveis pelo emprego de, aproximadamente, 630 mil pessoas, sendo cerca de 40% diretos e 60% indiretos.

Dentre os 79 projetos de irrigação instalados na região, os que apresentam maiores aproveitamentos da sua área implantada com o cultivo de alguma cultura são o Distrito de Irrigação Nilo Coelho (DINC), implantado em 1984, entre os estados de Pernambuco e Bahia, porém sua sede se situa no município de Petrolina/PE, e Platôs de Neópolis, implantado em 1995, no estado de Sergipe (ANA, 2017).

De acordo com a ANA (2017), “a emancipação de perímetros públicos, ou seja, a transferência da gestão aos produtores com sustentabilidade econômica, política e social, tem sido um desafio para os produtores e as instituições responsáveis”.

No Rio Grande do Norte, após a construção da barragem Armando Ribeiro Gonçalves, no Vale do Açu, fez com que o curso do Rio Piranhas-Açu, se tornasse perene, o que permitiu viabilizar a implantação de um perímetro irrigado, chamado de Distrito Irrigado do Baixo-Açu (DIBA), fazendo-se, assim, desenvolver, principalmente, a fruticultura, já que nesta região os solos são bastante férteis e o clima é favorável à produção agrícola. É importante citar que,

várias outras empresas, de diversos portes, também, se instalaram ao logo do rio, o que permitiu um avanço da economia dessa região (Hespanhol, 2016).

Atualmente, no DIBA, são produzidos, aproximadamente, mil hectares de banana, sendo a principal cultura agrícola explorada, este fato se dá devido ao RN, ser uma área reconhecida como livre da Sigatoka-negra, a mais temida e mais grave doença da bananeira (EMBRAPA, 2019). Nas demais áreas restantes são produzidas outras culturas como milho, feijão e algodão. Planta-se, também, grama, melancia, coco, manga, melão, graviola, limão, dentre outros, permitindo a geração de renda e empregos para, aproximadamente, 400 famílias de irrigantes, bem como, para funcionários assalariados (DNOCS, 2018; Hespanhol, 2016).

Segundo o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS, 2018), no Distrito Irrigado do Baixo-Açu, grande parte da irrigação realizada nas áreas é por meio de sistemas como aspersão convencional e pivô central.

2.4 IRRIGAÇÃO

A irrigação é uma prática agrícola, onde se utiliza de diversos conjuntos de equipamentos e técnicas para suprir a carência das plantas por água, seja esta total ou parcial. A mesma existe a milhares de anos, desde as antigas civilizações, principalmente aquelas em que se foi necessário adaptar-se ao clima, geralmente, seco como na Mesopotâmia (atual Turquia e Iran) e no Egito, com o objetivo de fornecer água para o cultivo de diversas culturas, na quantidade ideal, ou seja, atendendo a necessidade hídrica da cultura, e no momento em que a planta necessita (ANA, 2017).

No Brasil, a irrigação teve início bem tardio, se comparado com os demais países, ainda em 1900, com o cultivo de arroz no estado do Rio Grande do Sul, porém a intensificação da mesma, em outros estados, se deu entre as décadas de 70 e 80, onde foi possível o surgimento de novos polos agrícolas no país (ANA, 2017). Apesar desse início tardio, hoje em dia, o país encontra-se entre os dez países com maior área equipada para irrigação (FAO, 2018), embora, segundo a Agência Nacional de Águas - ANA (2017), a irrigação seja considerada pequena, quanto a fatores como área agrícola total, disponibilidade hídrica, extensão territorial e fatores físico-climáticos. Entretanto, com a rápida expansão da agricultura irrigada, diversos problemas têm surgido, provavelmente, em função do desconhecimento de algumas práticas como a escolha errônea do sistema de irrigação ou incompatibilidade do mesmo com determinada condição, ou ainda uso inadequado de máquinas e implementos agrícolas, causando graves problemas ambientais (ANA, 2017; Andrade, 2001).

A irrigação é de fundamental importância, principalmente em regiões sob o clima árido e semiárido. Isto ocorre devido a estas regiões estarem submetidas a eventos de escassez durante

longos períodos do ano. O semiárido nordestino, localizado na região Nordeste do Brasil, é um exemplo bastante claro de como a agricultura só possui viabilidade graças a aplicação artificial da água, o que confere a esta região uma grande produção de frutas, que são exportadas para diversos países (ANA, 2017; Garjulli, 2003).

2.4.1 Métodos de irrigação

Os métodos de irrigação são a forma pela qual a água é aplicada nas culturas. Existem, basicamente, 4 (quatro) métodos de irrigação, são estes: superfície, subterrânea ou subsuperfície, por aspersão e localizada (ANA, 2017; Andrade, 2001). Estes possuem seus principais sistemas. Os mesmos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Métodos de irrigação e seus principais sistemas.

Métodos	Sistemas
Superfície	Sulcos Faixas Inundação
Aspersão	Convencional Mecanizada (Pivô e Carretel)
Localizada	Gotejamento Microaspersão
Subsuperfície	Gotejamento Subterrâneo Elevação do Lençol Freático Mesas de subirrigação

Fonte: Acervo do autor (2018).

2.4.1.1 Irrigação por superfície

A irrigação por superfície se dá por meio da gravidade, onde a água, através da superfície do solo, de forma total ou parcial, é distribuída, infiltrando no mesmo, tendo o seu nível controlado para que as plantas façam o aproveitamento mais eficiente do recurso. Este é um dos métodos de irrigação mais utilizados em todo o mundo, inclusive no Brasil (ANA, 2017; Andrade, 2001; Testezlaf, 2017).

Segundo Ferreira (2011), para este método de irrigação há vários sistemas, que irá variar de acordo com as condições pela qual podem ser utilizados. A irrigação por superfície ainda se divide em três sistemas, classificados como: irrigação por sulco, por faixas e sistema de irrigação por inundação (Figura 3).

No sistema de irrigação por sulco, a água escoar e infiltra-se, acompanhando as linhas dos sulcos, que são realizados na superfície do solo, sendo assim uma forma de inundação

parcial. A irrigação por faixas, a água é aplicada em faixas, paralelas às fileiras de plantas. Enquanto que no sistema de irrigação por inundação, como o próprio nome já sugere, a água é aplicada em toda a área, porém esta é limitada por diques, fazendo com que a água se acumule e infiltre, a medida com que o tempo passe. Este por sua vez é muito empregado no cultivo do arroz (Ferreira, 2011).

Figura 3. Irrigação por superfície: sistema de sulcos (à esquerda) e sistema de inundação (à direita).



Fonte: Google imagens (2018).

Segundo Andrade (2001), algumas vantagens deste sistema de irrigação são: Menor custo fixo e operacional; baixo consumo de energia, em comparação a outros métodos e requer equipamentos simples de fácil operação. Já as desvantagens, o este sistema requer condições topográficas favoráveis, sendo ineficiente em solos excessivamente permeáveis, resultando no pequeno interesse comercial.

2.4.1.2 Irrigação por aspersão

Na irrigação por aspersão, a água é aplicada, sob pressão, nas culturas na forma de gotas, simulando o efeito da precipitação pluviométrica. A distribuição é feita a partir dos orifícios existentes nos aspersores ou sprays, que são os dispositivos mecânicos responsáveis por esse efeito. Este sistema é dividido em duas categorias de sistemas: convencionais (portáteis ou permanentes), e mecanizados (Figura 4). (ANA, 2017; Andrade, 2001; Biscaro, 2009).

A irrigação por sistemas convencionais, seja portátil ou permanente, é aquela que utilizam equipamentos convencionais de aspersão, como tubulações, motobombas, aspersores, dentre outros, podendo estes serem fixos ou móveis. Por outro lado, a irrigação por sistemas mecanizados é aquela que através do auxílio de tratores ou até sistemas automatizados, podem mover-se pela área, para isso, os aspersores são montados em estruturas metálicas que realizam

a irrigação. Um clássico exemplo desse tipo de sistema é o pivô central e o carretel enrolador (Biscaro, 2009).

Figura 4. Irrigação por aspersão: convencional (à esquerda) e mecanizada por pivô central (à direita).



Fonte: Google imagens (2018).

Este tipo de sistema destaca-se por ser totalmente automatizado; é facilmente adaptado às diversas culturas, condições de solos e topografia; possui maior eficiência em relação ao sistema de irrigação por superfície. Entretanto as desvantagens são: os custos são mais elevados em comparação a outros métodos; e, pode sofrer influência das condições climáticas (ANDRADE, 2001; Biscaro, 2009).

2.4.1.3 Irrigação localizada

Na irrigação localizada, a água é aplicada, em pequenas vazões, ao solo de forma pontual, geralmente em uma área próxima ao caule ou em uma área sombreada pela própria copa das culturas, buscando o umedecimento somente da área em que a zona radicular das plantas se encontram. Esta aplicação é feita por meio de emissores com diâmetros bastante reduzidos, o que pode favorecer a economia de água, já que a proporção da área molhada varia de 20 a 80% da área total. Os principais sistemas que compõem esse método de irrigação são (Figura 5): gotejamento e microaspersão (Coelho et al., 2014; Ferreira, 2011).

No sistema de irrigação por gotejamento a água, sob baixa pressão, é aplicada à superfície do solo em forma de gotas, por meio dos emissores (gotejadores). Já no sistema de irrigação por microaspersão, que possui maior área de aplicação que o sistema anterior, a água é aplicada em forma de jatos ou aerossol, por meio de microaspersores ou sprays. Este sistema aplica, geralmente, a água sob a área sombreada pela copa das culturas empregadas (Coelho et al., 2014; Ferreira, 2011).

Figura 5. Irrigação localizada: gotejamento (à esquerda) e microaspersão (à direita).



Fonte: Google imagens (2018).

Andrade (2001) e ANA (2017) citam que algumas vantagens da irrigação localizada são: maior economia de água, em comparação a outros métodos de irrigação; elevado teor de umidade na zona radicular das culturas; fertilizantes e alguns tipos de defensivos podem ser aplicados via água de irrigação; e, menor emprego de mão-de-obra. Contudo, como limitações tem-se: alto custo inicial; susceptibilidade ao entupimento, se utilizado águas de qualidade inferior; sistema pouco recomendado para uso em solos arenosos, pois o bulbo tende a alongar-se para baixo, favorecendo a perda de água; e, susceptibilidade ao vento.

2.4.1.4 Irrigação por subsuperfície

Na irrigação por subsuperfície, como o próprio nome já indica, a água é aplicada abaixo da superfície do solo, diretamente nas raízes das plantas, fazendo-se o uso do fenômeno da ascensão capilar, onde a água por meio de diferença de potencial (DDP), se eleva até a superfície do solo. Os sistemas que compõem este método de irrigação são: gotejamento subterrâneo ou subsuperficial, elevação do lençol freático e sistema de subirrigação em ambientes protegidos (Figura 6) (Andrade, 2001; Testezlaf, 2017).

No gotejamento subterrâneo ou subsuperficial, a água é aplicada por meio de gotejadores enterrados próximos a zona radicular das plantas. No sistema de irrigação por elevação do lençol freático é aplicado onde exista algum tipo de impedimento na subsuperfície do solo ou locais com problemas de encharcamento, permitindo assim a saturação e o controle do nível do lençol freático. Por outro lado, o sistema de subirrigação em ambientes protegidos aplicam água diretamente na zona radicular da planta, utilizando-se de mesas capilares e calhas de hidroponia, por exemplo (Testezlaf, 2017).

Figura 6. Irrigação por subsuperfície: subterrânea (à esquerda) e mesas de subirrigação (à direita).



Fonte: Google imagens (2018).

2.4.2 Qualidade das águas para fins de irrigação

As águas que, geralmente, são utilizadas para irrigação são de origens superficiais (lagos, rios, lagoas, açudes, etc) ou subterrâneas (aquíferos, lençol freático, etc), porém em algumas áreas do globo, principalmente em regiões sob o clima árido ou semiárido, é bastante comum a aplicação de águas residuárias urbanas para o cultivo das culturas, visto que a escassez hídrica e as condições climáticas, praticamente forcem o emprego desse tipo de fonte. (ALMEIDA, 2010).

Segundo ainda o mesmo autor, os aspectos de qualidade da água para irrigação considerados como os mais importantes são: salinidade, sodicidade e toxicidade. O critério de salinidade é resultado da acumulação de sais no solo, o que contribui para o aumento do potencial osmótico, podendo dificultar ou até mesmo impedir a absorção da água pelas plantas, além de gerar alterações na absorção não seletiva de nutrientes, podendo levar as plantas a morte. O critério de sodicidade é referente ao efeito do sódio na água de irrigação, este está ligado a permeabilidade do solo e a nutrição e toxicidade nas plantas. A Relação de Adsorção de Sódio (RAS) é um índice que indica a proporção relativa de Na^+ em relação ao Ca^{2+} e o Mg^{2+} . Este parâmetro é ainda o que mais se ajusta ao Percentual de Sódio Trocável (PST) do solo. Já o critério de toxicidade, ao contrário da salinidade, que é um problema externo a planta, é um problema interno à mesma, ocorrendo quando determinados íons como Na^+ , Cl^- e B, acumulam-se nas folhas por meio da transpiração, podendo chegar a níveis nocivos, causando danos a planta, reduzindo assim, os rendimentos das culturas mais sensíveis (Almeida, 2010; Ayers & Westcot, 1999).

A classificação das águas para irrigação quanto a salinidade e sodicidade, foi desenvolvida pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos (Richards, 1954), onde as

águas foram divididas em quatro classes (C_1 a C_4), em função da concentração total de sais solúveis, e outras quatro classes (S_1 a S_4) de acordo com o teor de sódio (sodicidade), baseado no efeito do sódio trocável sobre a condição física do solo (Almeida, 2010).

As classes da qualidade da água para irrigação, segundo a metodologia desenvolvida por Richards (1954), podem ser interpretadas conforme o diagrama da Figura 16, sendo apresentadas resumidamente a seguir:

- C_1 - Água de baixa salinidade: pode ser usada para irrigação da maioria das culturas, na maioria dos tipos de solos, com baixa probabilidade de que a salinidade se desenvolva. Alguma lixiviação de sais é necessária, porém esta ocorre sob práticas normais de irrigação, exceto em solos de permeabilidade extremamente baixa;
- C_2 - Água de média salinidade: pode ser usado se ocorrer um grau moderado de lixiviação. Plantas com moderada tolerância à salinidade podem ser cultivadas na maioria dos casos sem práticas especiais de controle de salinidade;
- C_3 - Água de alta salinidade: não pode ser usada em solos com drenagem restrita (deficiente). Mesmo com drenagem adequada, pode ser necessário um manejo especial para o controle da salinidade e devem ser selecionadas plantas com boa tolerância a salinidade;
- C_4 - Água de salinidade muito alta: não é adequado para irrigação em condições normais, mas pode ser usado, ocasionalmente, em circunstâncias muito especiais. Os solos devem ser permeáveis, a drenagem deve ser adequada, a água de irrigação deve ser aplicada em excesso para proporcionar uma lixiviação considerável, e as culturas mais tolerantes à salinidade devem ser utilizadas;
- S_1 - Água com baixa concentração de sódio: pode ser utilizado para irrigação em quase todos os solos com baixo risco de desenvolvimento a níveis prejudicial de Na^+ trocável. No entanto, culturas sensíveis ao Na^+ , como árvores frutíferas e abacates, podem acumular concentrações prejudiciais de Na^+ ;
- S_2 - Água com médio teor de Na^+ : este tipo de água apresentará risco considerável de excesso de Na^+ em solos de textura fina com alta capacidade de troca de cátions, especialmente sob condições de baixa lixiviação, a menos que o gesso esteja presente no solo. Esta água pode ser usada em solos de textura grossa ou solos orgânicos com boa permeabilidade;
- S_3 - Água com alto teor de sódio: podem produzir altos níveis de Na^+ trocável na maioria dos solos, podendo chegar a níveis prejudiciais e exigirão um manejo especial do solo - boa drenagem, alta lixiviação e adição de matéria orgânica. Solos com gipsita (gesso)

podem manter níveis de Na^+ trocável quando irrigado com essas águas. O uso de corretivos químicos pode ser necessário para a substituição do Na^+ trocável, exceto quando as alterações não podem ser viáveis com águas de alta salinidade;

- S₄ - Água com teor de Na^+ muito alto: este tipo de água é, geralmente, não apropriada para fins de irrigação, exceto em salinidade baixa ou talvez com salinidade média, em que a solução de cálcio do solo ou uso de gesso ou outras emendas podem viabilizar o uso dessas águas.

Almeida (2010), cita que a combinação da Condutividade Elétrica (CE) da água de irrigação com a RAS, permite estabelecer diferentes tipos de águas, sendo sua identificação dada pela inicial de cada um dos índices e subíndices numéricos.

De acordo com Ayers & Westcot (1999), a adequação da água de irrigação não depende apenas do teor total de sais, mas é muito importante conhecer, também, os tipos de sais, visto que a medida em que a quantidade total de sais aumenta, aumenta-se, também, os problemas do solo e das culturas, o que irá necessitar de práticas agrícolas especiais, ou seja, necessitará de um manejo especial a fim de manter os rendimentos das culturas em níveis aceitáveis. Ainda de acordo com o autor, a agricultura irrigada depende da quantidade, bem como da qualidade da água utilizada na irrigação, embora haja uma negligência no que tange ao fator qualidade, visto que no passado as fontes de águas serem abundantes e de boa qualidade, fato que nos dias atuais não se observa mais com tanta frequência.

Para Mantovani et al. (2006), o êxito na utilização de sistemas irrigados depende da qualidade da água utilizada, sendo assim, considerado como um aspecto fundamental, ainda que a avaliação da qualidade da água seja desprezada. Em consequência a isto, vários efeitos negativos são gerados para a população, para as plantações e, conseqüentemente, para o setor econômico.

2.4.3 Manejo da irrigação

O manejo da irrigação é, basicamente, a aplicação de água de maneira racional, ou seja, no momento em que a planta necessita, respeitando a necessidade da mesma e as necessidades do solo, garantindo assim maior produtividade. Este manejo deve ser adequado ao tipo de sistema de irrigação que se está fazendo o uso, a fim de se obter maiores eficiências e redução nos custos operacionais do sistema (Coelho, 2013; Testezlaf, 2017).

Segundo Testezlaf (2017), na irrigação exige-se o emprego de alguns conhecimentos específicos na área como questões fitossanitárias associadas a doenças de vinculação hídrica e sobre as demandas diferenciadas de água e fertilizantes, ao longo do ciclo nos cultivos agrícolas.

Caso contrário, os agricultores podem arcar com prejuízos e alguns efeitos desfavoráveis como baixa produção, diminuição da área irrigada, impactos ao meio ambiente e menor lucratividade.

Existem diferentes métodos que visam o manejo da irrigação, porém todos estes devem atender a condições como: a cultura a ser irrigada, características do solo, fase do crescimento vegetativo, características do sistema de irrigação, variações climáticas, dentre outros (Zonta et al., 2016).

De acordo com Coelho (2013), o manejo da irrigação não pode ser algo de natureza fixa, ou seja, conforme com o que foi realizado no projeto, mas deve ser de natureza flexível, devido, por exemplo, ao estágio de desenvolvimento das plantas e as condições climáticas.

Dentre os diversos métodos utilizados para o manejo da irrigação, há a utilização dos sensores de água no solo, este pode ser utilizado tanto para identificar a quantidade de água a ser aplicada no solo, quanto para a identificação do momento para irrigação. Para isso, é necessário o conhecimento da curva característica de umidade do solo (Zonta et al., 2016; Coelho, 2013).

Alguns sensores, existentes no mercado, como os reflectômetros de TDR, sonda de neutros e a sonda de capacitância, são de fácil manuseio, entretanto a TRD oferece uma maior precisão e diferenciados preços, sendo o mais indicado para a utilização nas pesquisas de campo. Os tensiômetros, por sua vez, tem um custo bem inferior, se comparado ao TDR, e com o uso do tensímetro digital de punção, as leituras se tornam mais eficientes e fáceis para o usuário que esteja manejando esse equipamento, além de evitar o manuseio do mercúrio, que apresenta riscos à saúde humana. Tais sensores devem ser instalados em locais que sejam representativos de toda a área, e a quantidade de pontos deverá aumentar de acordo com a variabilidade espacial da área (Camargo, 2016; Coelho, 2013).

Nos últimos anos, vem sendo desenvolvidos alguns programas computacionais para auxílio ao manejo da irrigação, seja por meio de empresas privadas e/ou por universidades. Tais programas permitem acompanhar as variações climáticas e podendo sugerir qual o momento correto da irrigação, indicando a real necessidade hídrica das culturas, fazendo-se assim, com que se tenha um uso racional da água. É importante dizer que, se não feita de maneira correta, o manejo da irrigação, pode levar ao desequilíbrio da produção e gerar vários impactos ambientais (Coelho, 2013; Testezlaf, 2017).

2.4.4 Impactos da irrigação

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), na sua resolução n° 1 (BRASIL, 1986), define impacto ambiental como qualquer alteração no meio ambiente, causada por atividades antrópicas que afetem, direta ou indiretamente: a) a saúde, a segurança e o bem-estar

da população; b) as atividades sociais e econômicas; c) a biota; d) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e, e) a qualidade dos recursos ambientais.

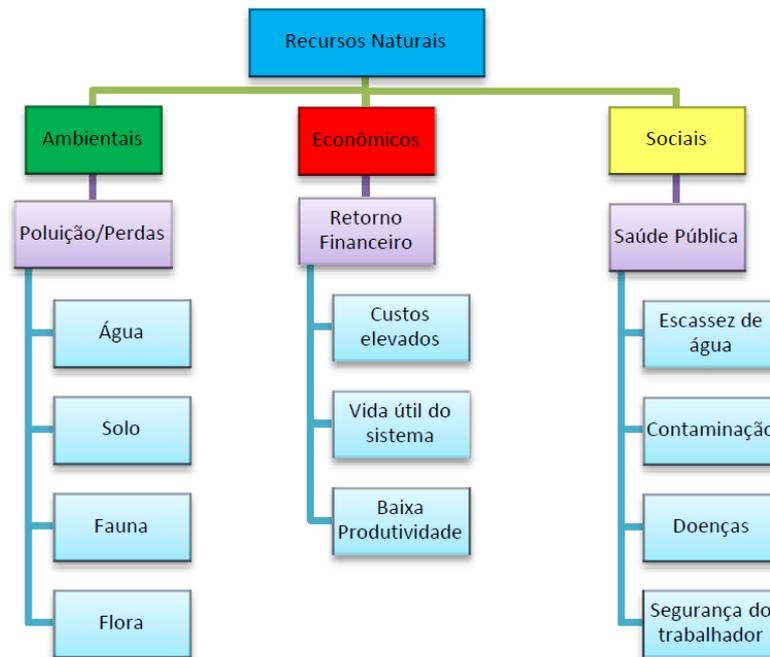
Diante deste cenário, pode-se compreender que todas as atividades desenvolvidas pelo homem devem passar por esta avaliação, para que se busque alternativas que visem minimizar ou reduzir os impactos ao meio ambiente. Não sendo diferente para o setor agrário, em especial a irrigação, que é responsável por cerca de 70% do consumo de toda água que é utilizada nos processos humanos, sendo as indústrias responsáveis pelo consumo de 20% e os demais 10% são para o uso residencial (De Deus & Bakonyi, 2012; Rodrigues & Irias, 2004).

A irrigação quando mal planejada e/ou mal dimensionada, pode trazer profundos impactos ao meio ambiente como a alteração da qualidade dos recursos hídricos, em que muitos reservatórios acabam com seu uso restrito, devido ao manejo incorreto das águas, e o uso intensivo do solo, este último quando atrelado ao uso inadequado da água, está susceptível a erosão, salinização e assoreamento dos rios, dentre outros, diminuindo assim a capacidade produtiva do mesmo. Outro problema agravante é o uso de agrotóxicos, que, embora tenham sido desenvolvidos produtos (herbicidas ou inseticidas) naturais menos agressivos ao meio ambiente, o custo se torna mais elevado (De Deus & Bakonyi, 2012).

Testezlaf (2017), cita alguns exemplos dos impactos negativos que a irrigação exerce sob o meio ambiente (Figura 7), tais como: Alterações do regime hídrico, da água superficial e subsuperficial, pelo uso excessivo desses recursos; Potencial para causar erosão, principalmente em áreas declivosas e solos com baixa capacidade de infiltração de água; Contaminação do solo e da água pelo uso de tratamentos químicos; possibilidade de mudança na condição da fauna e flora. O mesmo autor ainda afirma que, em várias partes do mundo, as áreas, após a implementação dos sistemas de irrigação, têm sofrido com problemas como a salinização.

Segundo a FAO (2006), no Brasil, estima-se que 20 a 25% das áreas irrigadas sofrem com problemas de salinização.

Figura 7. Classificação dos impactos negativos advindos da irrigação.



Fonte: Testezlaf (2017).

Porém Testezlaf (2017), cita que além dos impactos negativos, há, também, os impactos positivos, no que tange a irrigação, como, por exemplo: a criação ou aumento na oferta de emprego para a população; aumento da produção local ou regional, gerando renda; e, a oportunidade para criação de outras atividades econômicas; dentre outros.

2.5 SALINIZAÇÃO DOS SOLOS

Os solos afetados por sais são chamados de solos halomórficos ou solos salinos e sódicos. Os mesmos são solos que se desenvolveram em condições imperfeitas de drenagem, devido a presença de sais solúveis ou de Na^+ trocável nas camadas próximas à superfície, principalmente, em regiões sob o clima árido e semiárido, onde, nessas regiões, há alta evapotranspiração e baixas precipitações pluviométricas, bem como a presença de camadas impermeáveis, o que contribuem no aumento da concentração de sais no solo, ou seja, para o processo de salinização, afetando o desenvolvimento das culturas (Ribeiro et al., 2016).

No Brasil, a ocorrência de solos salinos e sódicos pode ser observada em diversas partes do país, como no Rio Grande do Sul, no Pantanal mato-grossense, e principalmente na região Nordeste, pois a mesma está sob a influência do clima semiárido (Ribeiro et al., 2016).

Na região Nordeste do Brasil, além das condições climáticas, a produção de alimentos e o aumento da população tem contribuído no aumento de áreas afetadas pela salinidade, devido ao uso de águas salinas, a expansão de áreas agrícolas irrigadas, a ausência de sistemas de

drenagem e ao manejo inadequado da irrigação e do solo, o que tem gerado grandes impactos econômicos e ao meio ambiente (Ribeiro et al., 2016).

2.5.1 Origem dos sais

Os sais podem ser advindos de três fontes naturais distintas, como o intemperismo natural, a precipitação atmosférica e os sais fósseis, este último são remanescentes de ambientes marinhos e lacustres (Bohn et al., 1985).

Segundo Hanson et al. (2006), a presença de sais na água se dá, principalmente, pelo intemperismo químico dos minerais dos solos e das rochas. Visto que, a milhões de anos, os sais foram sendo intemperizados, incorporados e transportados pela água e acabaram nos oceanos ou em bacias hidrográficas fechadas. O mesmo acontece com a água que infiltra no solo, a mesma dissolve os sais à medida que vai penetrando os horizontes do solo. Ainda segundo o mesmo autor (Hanson et al., 2006), as rochas sedimentares de origem marinha são as que mais contribuem para a formação de sais.

De acordo com informações da FAO (2005), estima-se que, aproximadamente, 50% das áreas irrigadas no mundo apresentam problemas de salinização. Outro dado importante, citado pelo mesmo autor é que, anualmente, cerca de 10 milhões de hectares sejam abandonados, em virtude de problemas de salinidade.

Os sais que se acumulam nas raízes das plantas, na água ou no solo podem possuir várias origens, sendo estas de fontes primárias (natural) como o intemperismo químico, bem como de fontes secundárias, advinda dos processos antrópicos como a irrigação, o uso de fertilizantes e aditivos do solo como o gesso e a cal (HANSON et al., 2006).

2.5.2 Salinização Primária

A salinização primária ou natural, é resultante do intemperismo químico sofrido pelo solo e pelas rochas, que acabam sendo transportados, principalmente, pela água para áreas mais baixas. Os sais são arrastados para essas áreas, devido à fatores como o relevo, ao escoamento superficial, bem como ao lençol freático alto ou a baixa permeabilidade encontrada nessas áreas, impedindo assim, que a lavagem dos sais aconteça. Tal situação é agravante em regiões com o clima árido e semiárido, visto que nessas áreas há uma alta evapotranspiração e uma baixa precipitação pluviométrica, favorecendo a ascensão capilar dos sais para a superfície (Ribeiro, 2010).

Richards (1954) cita que, embora a principal fonte de sais encontrados no solo seja a intemperização das rochas, são raríssimos os exemplos onde esta fonte tenha provocado, de forma direta, problemas de salinidade do solo.

2.5.3 Salinização secundária

A salinização secundária está relacionada as atividades antrópicas, geralmente associada ao manejo da irrigação, feito de maneira incorreto, e as práticas de cultivo, bem como a fertirrigação aplicada sem controle. Nas regiões semiáridas, onde o processo de salinização é mais atuante, ocorre um processo bastante comum que é a elevação do lençol freático, devido ao fato da irrigação possuir baixa eficiência, havendo perdas por percolação profunda, a falta de técnicos na área e a falta de sistema de drenagem eficiente, contribuindo para este processo (salinização) (Medeiros et al., 2016; Silveira et al., 2016).

A salinização secundária pode ocorrer devido à utilização de água para irrigação com qualidade inferior, mesmo que sejam adotadas medidas como o manejo adequado, sistemas de drenagem, a água se torna um fator limitante ao desenvolvimento das culturas, principalmente aquelas mais sensíveis aos sais. O uso excessivo de fertilizantes também se constitui em uma das principais razões pelas quais o solo apresenta salinização (Medeiros et al., 2016; Dias & Blanco, 2010).

Ao longo dos anos, tem sido desenvolvida várias técnicas foram desenvolvidas para o controle da salinidade, e vários pesquisadores tem se unido com o objetivo de encontrar melhores formas de monitoramento, avaliação e manejo, porém, ainda assim, milhões de hectares, no mundo inteiro, continuam sendo salinizados, o que reflete na produção das culturas, gerando grandes perdas para o setor econômico e ambiental (Medeiros et al., 2016). Segundo Roy et al. (2014), cerca de 45 milhões de hectares tem sido afetados pela salinização, atualmente, com tendência de aumentar devido as mudanças.

2.5.4 Efeito dos sais

A salinidade, quando não controlada, pode causar graves danos ao solo e as plantas. No solo, o efeito dos sais sob a estrutura dos mesmos ocorre pela interação eletroquímica existente entre os cátions e a argila, fazendo com que ocorra a expansão da argila, quando úmida e a contração quando seca, isto ocorre graças ao excesso de Na^+ trocável. Quando esta expansão é exagerada, pode ocorrer a dispersão das argilas e a modificação da estrutura dos solos, bem como apresentar problemas de permeabilidade devido a obstrução dos poros, impedindo a germinação de sementes e o crescimento radicular, causado por excesso de água na superfície do solo. Quando o solo está salinizado o mesmo está susceptível a erosão e perda de fertilidade, podendo haver a contaminação do lençol freático e das aquíferos subterrâneos (Dias & Blanco, 2010; Medeiros et al., 2016).

De acordo com Dias & Blanco (2010), a dispersão do solo pode ser explicada baseando-se na interação entre os cátions e as argilas. As partículas de argilas possuem, predominantemente, cargas negativas que são neutralizadas pela atração de cátions presentes no sistema solo. Já os aniões, que também possuem cargas negativas, acabam repelindo, afastando-se das partículas de argila, formando, ao redor da mesma, uma dupla camada iônica.

Na planta os efeitos são bastante severos, implicando em perdas na qualidade e na produtividade, e em alguns casos pode levar a perda total da produção, já que, em vez da planta absorver água, a mesma poderá, inclusive, perder a água que se encontra em seu interior. O efeito é chamado de plasmólise, e ocorre quando uma solução altamente concentrada entra em contato com a célula vegetal (Dias & Blanco, 2010; Santos et al., 2016). Outro efeito, segundo Dias & Blanco (2010), é a toxicidade, que ocorre quando a planta absorve os sais em conjunto com a água, fazendo com que haja toxidez, devido ao excesso de sais absorvidos pela mesma. A toxicidade pode se dar pela absorção, das plantas, de Cl^- , Na^+ e B, por exemplo.

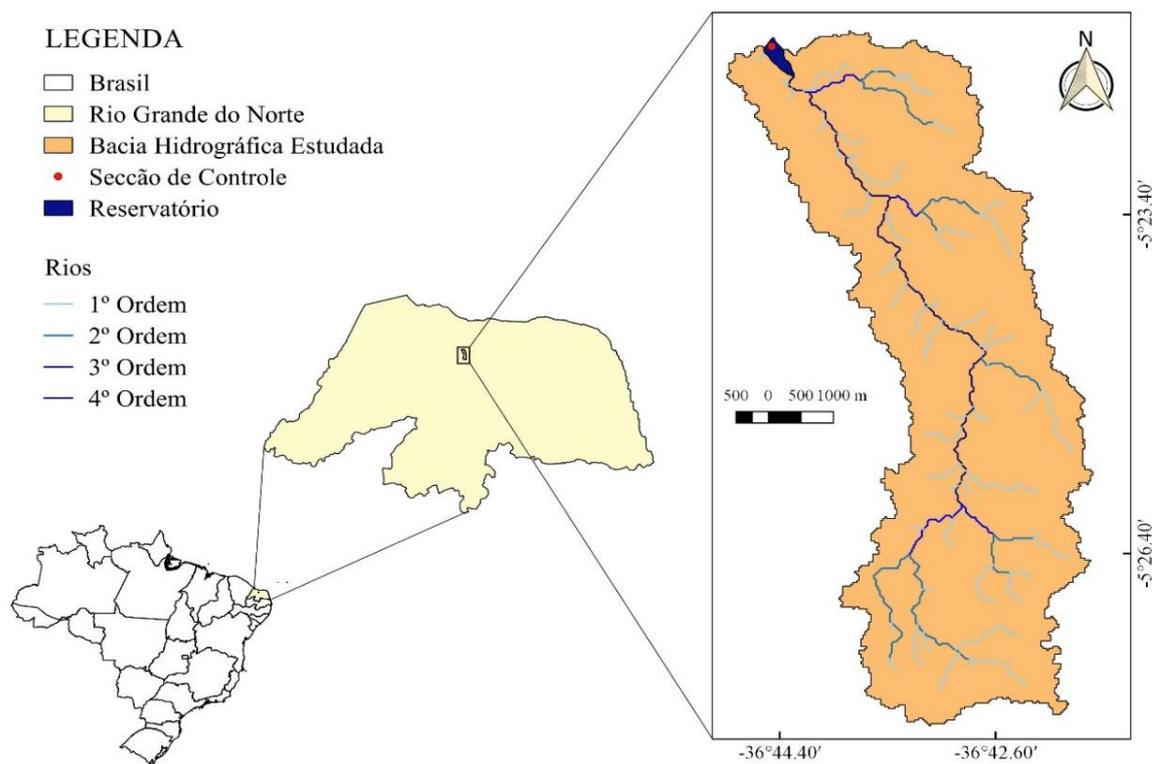
Ainda segundo o mesmo autor, há ainda alguns efeitos indiretos, que ocorrem quando as altas concentrações de Na^+ ou cátions, interferem na disponibilidade de alguns elementos ou nas condições físicas do solo, interferindo no crescimento e desenvolvimento das plantas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA

O presente trabalho foi desenvolvido em uma microbacia hidrográfica (Figura 8), que fica localizada no Distrito Irrigado do Baixo-Açu (DIBA). Este perímetro irrigado possui área total de 6.000 ha, e está situado na região entre os municípios de Ipanguaçu, Alto do Rodrigues e Afonso Bezerra no Estado do Rio Grande do Norte, e localiza-se geograficamente entre as coordenadas de latitude 5°20' e 5°30'S e entre as coordenadas 36°30' e 36°50'O de longitude, e está inserido dentro da bacia hidrográfica do rio Piranhas–Açu, sendo distante cerca de 210 km de Natal/RN, capital do estado. O acesso ao local do estudo se dá por meio de uma estrada pavimentada (RN 118). Entretanto, o acesso aos lotes da microbacia se dá por meio de uma estrada vicinal.

Figura 8. Mapa de localização e magnitude da microbacia hidrográfica estudada no Distrito Irrigado do Baixo-Açu (DIBA).

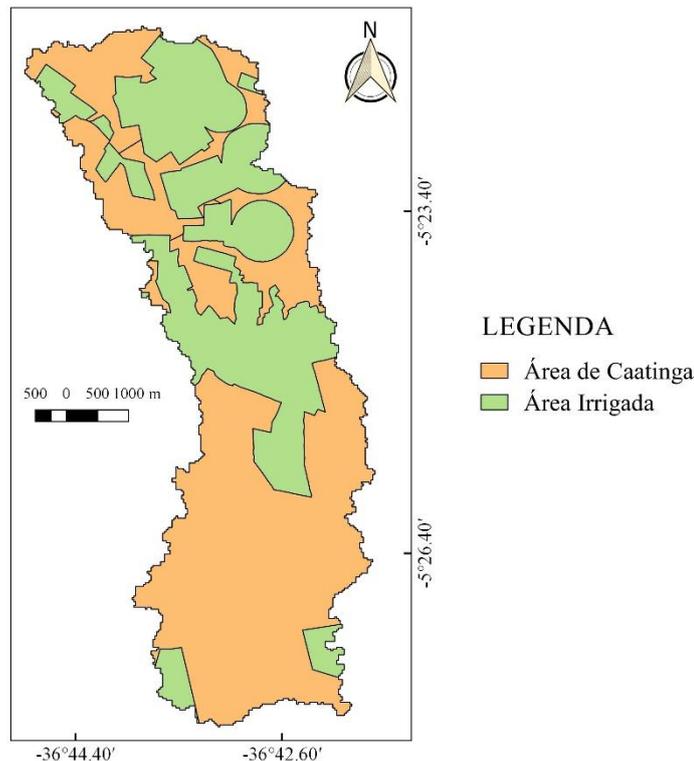


Fonte: Acervo do autor (2019).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região onde está localizado o perímetro irrigado, enquadra-se no tipo BSw_h, com chuvas de verão arrastando-se para o outono. A temperatura média é de 27,5°, com máxima de 33,6 °C e mínima de 21,5 °C. O relevo onde se localiza o perímetro irrigado é considerado plano, com declividade sempre inferior a 3%. Na área predominam os solos podzólicos, cambissolos e planossolos, derivados do calcário

jandaíra, com textura arenosa (Santos et al., 2018). O suprimento hídrico do Perímetro Irrigado Baixo-Açu é feito através da barragem Armando Ribeiro Gonçalves, que possui uma capacidade de 2.400.000.000 m³, onde a captação é feita diretamente no leito do rio Piranhas-Açu, através de uma estação de bombeamento e, através de canais dentro do perímetro irrigado, a água é distribuída. O DIBA é de grande importância econômica para a região do Vale do Açu, principalmente no que diz respeito a fruticultura, com a produção em larga escala de mamão, coco, manga e banana, bem como outras culturas como algodão, feijão, milho, feno (capim), melão, dentre outras (DNOCS, 2018). Na Figura 9, é possível observar o uso e ocupação do solo da área estudada, onde boa parte está ocupada com alguma cultura agrícola, enquanto que a maior parte da área permanece, ainda, sem nenhum manejo, ou seja, são áreas consideradas “virgens” com a presença da vegetação nativa.

Figura 9. Mapa de uso e ocupação da bacia hidrográfica estudada.



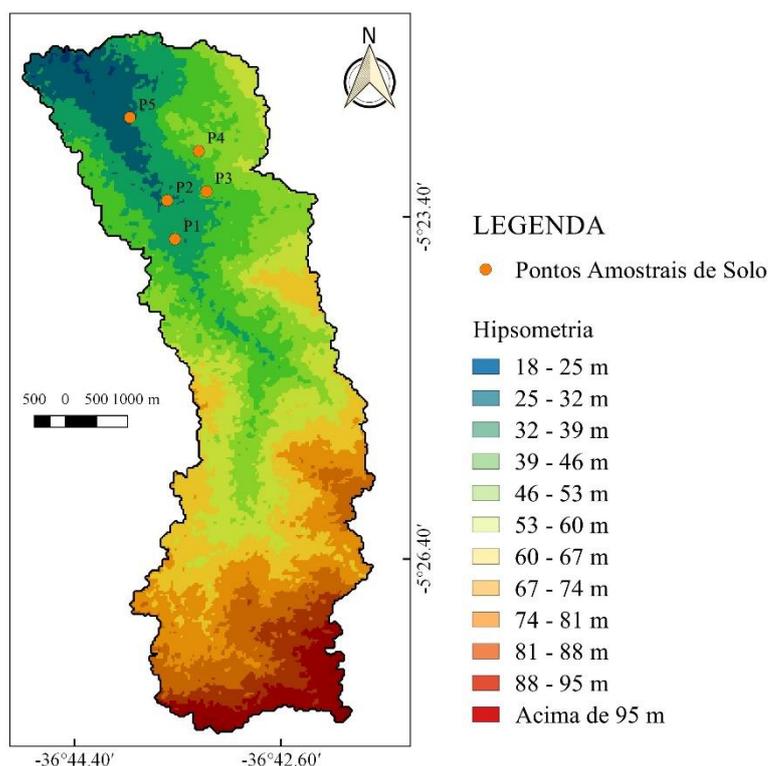
Fonte: Acervo do autor (2019).

3.2 CAMPANHAS DE COLETA DE SOLO

As campanhas de coletas de solo foram realizadas nos meses de maio, julho e setembro de 2018, o que permitiu abranger o final do período chuvoso (maio) e parte do período de estiagem (julho e setembro). Em cada campanha foram coletadas amostras de solos em cinco áreas distintas (Lote 1, 2, 3, 4 e Mata Nativa (MN)) na microbacia localizada no Distrito Irrigado

Baixo Açu, sendo estes lotes selecionados de acordo com a altitude (Figura 10). Os lotes 1 e 3 (pontos P2 e P4) estavam sob o cultivo de banana; os Lotes 2 e 4 (pontos P3 e P5) sob o cultivo de coco; e, o Lote MN (ponto P1) uma área sob mata nativa. Em cada área foram coletas, de forma aleatória, três pontos amostrais, representando três repetições, sendo que em cada ponto amostral foram realizadas coletas em duas profundidades (0 – 20 e 20 – 40 cm), perfazendo o total de 30 amostras por campanha e 90 amostras no total da pesquisa.

Figura 10. Mapa de localização dos pontos amostrais de solo e da hipsometria da microbacia hidrográfica estudada.



Fonte: Acervo do autor (2019).

3.3 CARACTERIZAÇÃO E COLETA DO SOLO UTILIZADO NA PESQUISA

O processo de caracterização do solo que foi utilizado na pesquisa, se deu por meio da coleta nas profundidades de 0 - 20 e 20 - 40 cm. Para as análises químicas e físicas foram coletadas amostras de estrutura deformada e indeformada, com auxílio de um trado tipo holandês e anel volumétrico, respectivamente, nas cinco áreas (Lote 1, 2, 3, 4 e Mata Nativa (MN)) da microbacia hidrográfica. Posteriormente, estas amostras foram reservadas em depósitos devidamente identificados e conduzidas ao Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta – LASAP do Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais da Universidade

Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Mossoró/RN, onde se deu a realização das análises físicas e químicas.

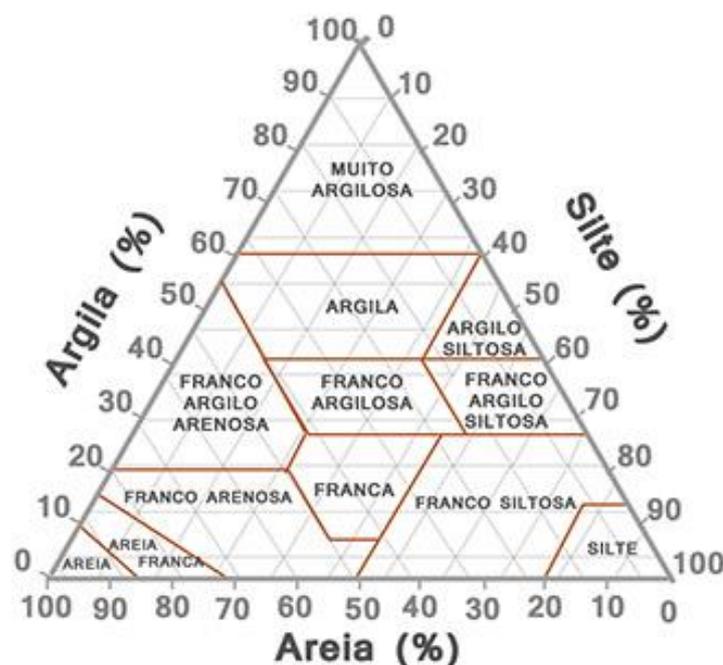
3.4 ANÁLISES FÍSICAS DO SOLO

As análises físicas do solo, realizadas a partir da coleta de amostras com estrutura deformada e indeformada, foram a granulometria pelo método da pipeta, densidade do solo, pelo método do anel volumétrico e densidade de partícula pelo método do balão volumétrico.

3.4.1 Distribuição e tamanho das partículas minerais do solo – granulometria

A classificação dos solos, quanto a sua textura (granulometria), foi obtida por meio de um diagrama, conhecido como Triângulo Textural (Figura 11). Nesse diagrama é possível entrar com os dados percentuais das frações granulométricas do solo, como areia, silte e argila, obtendo-se, assim, sua classificação. Segundo a NBR 6502 (ABNT, 1995), a areia é formada por minerais ou partículas com diâmetro que variam de 0,06 mm a 2,0 mm, sendo esta dividida em areia grossa (0,06 a 2,0 mm), areia média (0,2 a 0,6 mm) e areia fina (0,06 a 0,2 mm). O silte, é formado por partículas com diâmetro de 0,002 a 0,06 mm, e argila, com diâmetro de partículas inferiores a 0,002 mm.

Figura 11. Triângulo textural para a classificação dos solos quanto a granulometria.



Fonte: Google Imagens (2018).

Para a determinação da granulometria do solo foram coletadas amostras com estrutura deformada, com auxílio de um trado tipo holandês (Figura 12), em quatro lotes, dentro do perímetro irrigado. As amostras coletadas passaram pelo processo de secagem natural ou Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), posteriormente foram desagregadas e passadas em peneira 2 mm. A análise se deu pelo método da pipeta, com dispersante químico (Hexametáfosfato) e agitação mecânica lenta (50 rpm), em agitador tipo Wagner, por 16 horas, a fim de quantificar as frações sólidas do solo (areia, silte e argila). A fração argila ($< 0,002$ mm) foi obtida por sedimentação, a fração areia (2,00 – 0,05 mm) foi obtida por tamisagem, e a fração silte (0,05 – 0,002 mm) foi obtida por diferenciação, seguindo a metodologia desenvolvida por Teixeira et al. (2017).

Figura 12. Coleta de amostras de solo com auxílio de um trado tipo holandês.



Fonte: Acervo do autor (2018).

3.4.2 Densidade do solo

Na determinação da densidade do solo foi utilizado o método do anel volumétrico, aonde, foram coletadas amostras indeformadas do solo, da referida área de estudo que, posteriormente, fossem dispostas no LASAP, para prosseguimento da análise.

A análise da densidade do solo foi realizada pelo método da EMBRAPA (Teixeira, 2017), utilizando-se o método do anel volumétrico. Esta metodologia diz que para coletar a amostra é necessário o uso de um anel de bordas cortantes com capacidade interna conhecida, ou seja, com volume conhecido. Para a determinação do volume do anel volumétrico, foi utilizado a equação 1:

$$V_{\text{anel}} = \frac{\pi d^2}{4} \times h_{\text{anel}} \quad (1)$$

Em que:

V_{anel} = Volume do anel, cm^3 ;

d = Diâmetro do anel, cm; e,

h_{anel} = Altura do anel, cm.

No processo de coleta do solo, o anel volumétrico (Figura 13) foi cravado até que o mesmo estivesse todo recoberto com solo. Para isto, foi utilizado um trado e martelo apropriado para deferir os golpes no mesmo. Após isso, retirou-se o anel do solo e removeu-se o excesso de solo, até que o nível do solo fosse igual as bordas do anel. As bordas do anel estavam revestidas por uma proteção plástica resistente. Conforme a metodologia Teixeira et al. (2017), o solo que ficou retido dentro do anel foi disposto em um recipiente e levado para secar em uma estufa a 105°C , por um período de 24 horas, visando a obtenção de sua massa seca, sendo seu valor obtido através da equação 2.

$$DS = \frac{m_{105^\circ\text{C}}}{V} \quad (2)$$

Em que:

Ds = Densidade do solo, g cm^{-3} ;

$m_{105^\circ\text{C}}$ = Massa de solo seco; e,

V_{anel} = Volume do anel, cm^3 .

Figura 13. Coleta de solo utilizando anel volumétrico para amostra indeformada.



Fonte: Acervo do autor (2018).

3.4.3 Densidade de partícula

A Análise Densidade de Partícula (D_p), foi determinada pelo método do balão volumétrico, baseando-se na medida do volume de uma solução, que no caso foi utilizando-se álcool, devido à sua baixa tensão superficial, para quantificação dos sólidos presentes nas análises. Em outras palavras, pode-se entender como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado por esta fração sólida.

Para isso, a análise foi realizada seguindo a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017): (I) Pesou-se 20g de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA) em uma balança analítica em um Becker de 250 ml, é importante ressaltar o conhecimento da tara do Becker antes do início do procedimento. Em seguida, esta foi colocada em uma estufa a 105°C por 72 horas. Após o tempo estipulado na metodologia adotada, retirou-se a amostra da estufa a Terra Fina Seca em Estufa (TFSE), e resfriamento em dessecador; (II) Realizou-se a pesagem do material retirado

da estufa para quantificação da TFSE; (III) Transferiu-se o solo para o balão volumétrico com o auxílio de um funil e um pincel de cabelo; (IV) Adicionou-se o álcool etílico na bureta de 50 mL, ajustando-se o volume com a capacidade da mesma; (V) Transferiu-se o álcool da bureta até a metade do volume do balão contendo solo, seguido de agitação manual até eliminação do ar existente entre as partículas do solo, completando, posteriormente, o volume do balão até o traço de aferição, tomando-se a leitura do volume de álcool gasto (V_a), em seguida anotou-se o valor para posterior procedimento de cálculos.

3.5 ATRIBUTOS QUÍMICAS DO SOLO

As análises químicas e de salinidade do solo, foram realizadas nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, e foram constituídas da retirada de amostras da área experimental das cinco áreas analisadas (Lote 1, 2, 3, 4 e Mata Nativa (MN)), as quais foram conduzidas ao LASAP na UFERSA. Foram analisadas características como pH e condutividade elétrica do extrato da pasta de saturação (CE_{es}), conforme características descritas por Richards (1954), e as análises dos teores de P, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , seguindo a metodologia desenvolvida por Teixeira et al. (2017). De posse dos dados, procedeu-se os cálculos da capacidade de troca catiônica (CTC), a soma de bases (SB), e, a Percentagem de Sódio Trocável – PST, conforme equação 3.

$$PST = \frac{Na^+}{(Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ + H^+ + Al^{3+})} \times 100 \quad (3)$$

em que,

Na^+ = Concentração de Sódio no solo, em $mg\ dm^{-3}$;

Ca^{2+} = Concentração de Cálcio no solo, em $cmolc\ dm^{-3}$;

Mg^{2+} = Concentração de Magnésio no solo, em $cmolc\ dm^{-3}$;

K^+ = Concentração de Potássio no solo, em $cmolc\ dm^{-3}$;

H^+ = Concentração de Hidrogênio no solo, em $cmolc\ dm^{-3}$;

Al^{3+} = Concentração de Alumínio no solo, em $cmolc\ dm^{-3}$.

O denominador da equação 3, ou seja, a soma de $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+ + (H^+ + Al^{3+})$, corresponde a Capacidade de Troca de Cátions (CTC), representa o total de cátions que o solo pode reter na superfície coloidal. Já a soma dos mesmos elementos ($Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$), excluindo-se a acidez potencial, refere-se a soma de base (SB).

Para fins de classificação dos solos afetados por sais, utilizou-se a Tabela 2, proposta na metodologia desenvolvida por Bohn et al. (1985), em que o mesmo considera três parâmetros: Condutividade Elétrica (CE_{es}); Potencial de Hidrogênio (pH) e a Percentagem de Sódio Trocável (PST).

Tabela 2. Classificação de solos afetados por sais.

Classificação	
Solos normais	$CE < 2^*$
	PST < 15
	pH < 8,5
Solos salinos	$CE > 2^*$
	PST < 15
	pH < 8,5
Solos sódicos	$CE < 2^*$
	PST > 15
	pH > 8,5
Solos salino-sódicos	$CE > 2^*$
	PST > 15
	pH < 8,5

*O valor de CE para extrato de pasta saturado, em $dS\ m^{-1}$.

Fonte: Bohn et al. (1985).

Conforme a metodologia Teixeira et al. (2017), os teores de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) foram obtidos por titulometria (com EDTA 0,0125 M), por meio da determinação de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ utilizando coquetel, ácido ascórbico e indicador negro de eriocromo. O teor de cálcio trocável (Ca^{2+}), deu-se por meio do extrator cloreto de potássio, utilizando ácido ascórbico e indicador ácido calcon, utilizando a mesma titulação. A obtenção do magnésio trocável (Mg^{2+}) fora dada em meio a diferença entre Ca^{2+} e $Ca^{2+} + Mg^{2+}$. O sódio (Na^+) e potássio (K^+) foram obtidos pela extração duplo-ácida (HCL 0,05 M + H_2SO_4 0,0125 M), determinados por espectrofotometro de chama. Para a determinação do fósforo (P) foi realizada por colorimetria, utilizando como meio extrator o descrito para o Na^+ e o K^+ . Para esta determinação, foi adicionado mobilizado de amônio e ácido ascórbico.

O procedimento para a obtenção da pasta de saturação, foi realizada segundo metodologia de Richards (1954), onde, pesou-se, aproximadamente, 300 g de cada amostra de solo e misturou a uma quantidade, aproximada, de 80 ml de água deionizada, deixando-se “descansar” por 24 horas, realizando-se o processo de extração do extrato do solo em um equipamento denominado extrator de placa porosa (Figura 14). Após a obtenção do extrato do solo, foi-se realizada a leitura do pH, no pHmetro, e da CE, no condutivímetro, obtendo-se assim, o pH do extrato de saturação e a CE_{es} .

Figura 14. Extrator de placa porosa.

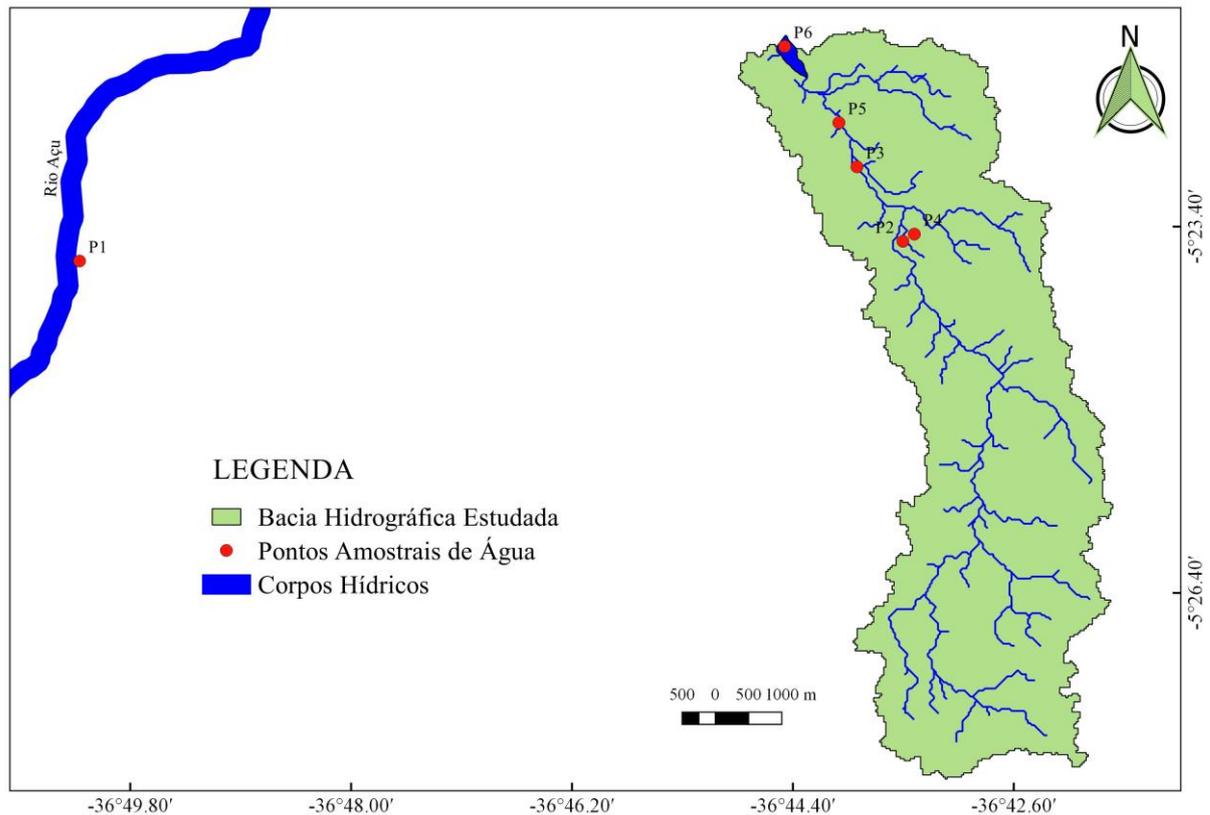


Fonte: Acervo do autor (2018).

3.6 CARACTERIZAÇÃO E COLETA DA ÁGUA UTILIZADA NA PESQUISA

As coletas da água se deram por meio de amostras coletadas em seis pontos diferentes dentro da microbacia estudada, no período de maio, julho e setembro de 2018, sendo estes pontos: captação de água no rio (P1); piscina de armazenamento de água (P2); em um dreno que recebe água de várias fazendas (P3); em outro dreno já no ponto final da microbacia (P4); água de poço (P5); e, próximo a um manancial (P6). Tais pontos podem ser observados na Figura 15. As amostras foram coletadas com auxílio de garrafas de poliestireno tereftalato (PET) esterilizadas, armazenadas em caixa de isopor, e em seguida encaminhadas ao laboratório para a determinação dos atributos químicos (CE em $dS\ m^{-1}$, pH, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Cl^- , CO_3^{2-} e HCO_3^-) da mesma. Também foram coletadas amostras de água no ponto de captação do DIBA, no rio Açú, para fins de referência (controle).

Figura 15. Mapa de localização dos pontos amostrais de água na micro bacia hidrográfica estudada.



Fonte: Acervo do autor (2018).

3.6.1 Atributos químicos da água

As análises químicas da água da irrigação foram realizadas de acordo com a metodologia proposta por Richards (1954), e foram analisados os seguintes atributos: Condutividade Elétrica (CE em dS m^{-1}), potencial hidrogeniônico (pH), as concentrações de Sódio (Na^+), Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}), Potássio (K^+), Cloreto (Cl^-), Carbonato (CO_3^{2-}) e Bicarbonato (HCO_3^-). Além disso, foi realizado o cálculo da Razão de Adsorção de Sódio (RAS), para classificação das amostras quanto ao risco de sodificação e de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água.

A classificação proposta por Ayers & Westcot (1999), fora utilizada a fim de determinar os riscos com problemas de infiltração, restringindo-se a três classes de sodicidade, que foram obtidas relacionando-se a RAS (Equação 4) com a salinidade da água de irrigação (Tabela 2).

$$RAS = \frac{Na^+}{\left[\frac{(Ca^{2+} + Mg^{2+})}{2} \right]^{0,5}} \quad (4)$$

em que:

RAS = Razão de Adsorção de Sódio, adimensional;

Na^+ = Concentração de Sódio no solo, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$;

Ca^{2+} = Concentração de Cálcio no solo, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$;

Mg^{2+} = Concentração de Magnésio no solo, em $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$.

Tabela 3. Riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água.

RAS	Classes de Sodicidade		
	Problemas		
	S ₁	S ₂	S ₃
	Sem	Crescentes	Severos
CE _a (dS m ⁻¹)			
0-3	> 0,70	0,70 - 0,20	< 0,20
3-6	> 1,20	1,20 - 0,30	< 0,30
6-12	> 1,90	1,90 - 0,50	< 0,50
12-20	> 2,90	2,90 - 1,30	< 1,30
20-40	> 5,00	5,00 - 2,90	< 2,90

Fonte: Ayers & Westcot (1999).

Na Figura 19, está apresentada a forma pela qual Richards (1954), classificou as águas de irrigação. O mesmo a dividiu em quatro classes, baseando-se nos valores limites da RAS, em função da CE da água (CE_a). No procedimento do cálculo da RAS, foi vista a necessidade do ajuste da mesma (RAS°). Este ajuste se deu seguindo a metodologia proposta por Ayers & Westcot (1999).

Para a classificação da água da fertirrigação quanto ao risco de toxicidade, foram analisados os íons Sódio (Na^+) e Cloreto (Cl^-) proposto por Ayers & Westcot (1999), considerando dois modos de aplicação e três classes (Tabela 4).

Tabela 4. Concentrações de íons em água e respectivos riscos de toxicidade as plantas.

Íon		Classes de Toxicidade da Água		
		Problema		
		T ₁	T ₂	T ₃
		Nenhum	Moderado	Severo
Sódio ou Cloreto (mmol L ⁻¹)				
Modo de Aplicação	Irrigação por superfície	< 3	3 - 9	> 9
	Irrigação por aspersão	< 3	> 3	-

Fonte: Ayers & Westcot (1999).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os resultados das análises físico-químicas do solo e da água, foram submetidos à análise de estatística descritiva para determinação das medidas de posição (média, valor máximo e valor mínimo) e dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação).

Foi realizada, também, a análise estatística dos dados das análises químicas do solo, por meio da estatística multivariada, a qual realiza o tratamento de diversas variáveis simultaneamente, permitindo assim, o estudo de fenômenos complexos, onde utilizou-se o *software* STATISTICA versão 7.0 (StatSoft, 2004).

Os resultados analíticos dos atributos químicos do solo, foram padronizados na matriz de correlação de Pearson, e posteriormente submetidos a técnicas multivariadas, como a análise fatorial (AF), análise de agrupamento (AA), e análise de componentes principais (ACP) (Hair et al. 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Diante dos resultados, dispostos na Tabela 5, e do triângulo textural (Figura 11), pode-se observar que a maioria das amostras, em ambas as profundidades, podem ser classificadas como Franco-Argilo-Arenosa. Apenas o Lote 2, na profundidade de 20-40 cm, foi classificado como Argilo-arenosa, visto que foi a camada, dentre as demais, que apresentou o maior teor de argila. Se comparado com a média geral, o percentual de argila na camada de 20-40 cm, do Lote 2, foi 51,9% maior.

A área da Mata Nativa, foi classificada como Franco-Arenosa na camada de 0-20 cm, e Areia Franca na camada de 20-40 cm, obtendo-se, assim, uma classificação diferente das demais áreas, devido aos altos teores de areia, onde os percentuais chegaram a 74% na camada 0-20 cm, e de 77% na camada de 20-40 cm, e baixa presença de argila, se comparada com outras áreas, e até mesmo com a média geral.

Tabela 5. Granulometria e classificação do solo para os lotes localizados no DIBA.

Amostra e profund. (cm)	Teor de Argila	Areia (%)			Teor de Silte	Classificação
		Grossa	Fina	Total		
Lote 1 (0 - 20)	0,32	0,24	0,33	0,57	0,11	Franco-argilo-arenosa
Lote 1 (20 - 40)	0,25	0,28	0,29	0,56	0,19	Franco-argilo-arenosa
Lote 2 (0 - 20)	0,33	0,19	0,39	0,58	0,09	Franco-argilo-arenosa
Lote 2 (20 - 40)	0,41	0,17	0,34	0,52	0,08	Argila-arenosa
Lote 3 (0 - 20)	0,20	0,21	0,52	0,73	0,07	Franco-argilo-arenosa
Lote 3 (20 - 40)	0,23	0,20	0,50	0,70	0,07	Franco-argilo-arenosa
Lote 4 (0 - 20)	0,28	0,17	0,48	0,65	0,07	Franco-argilo-arenosa
Lote 4 (20 - 40)	0,32	0,17	0,45	0,61	0,06	Franco-argilo-arenosa
Mata N. (0 - 20)	0,17	0,20	0,55	0,74	0,09	Franco-arenosa
Mata N. (20 - 40)	0,15	0,21	0,56	0,77	0,09	Areia-franca
Média Geral	0,27	0,20	0,44	0,64	0,09	
Desv. Padrão	0,08	0,03	0,10	0,09	0,04	

Fonte: Acervo do autor (2018).

Classificações encontrados por Resende et al. (2012), para a análise granulométrica, em seu trabalho de avaliação das condições físicas do solo em áreas sob diferentes usos com adição de dejetos animais no bioma cerrado, foram semelhantes aos encontrados nesse trabalho, onde a maioria dos solos foram classificados como Franco-argilo-arenosa. Os teores de areia (total) da área de Mata Nativa, encontrados para esse trabalho, foram similares aos encontrados por Ribeiro et al. (2007), que analisou seis classes de solo, sob vegetação natural, onde tais valores chegaram a ordem de até 90,7%.

A densidade do solo (Tabela 6), para os lotes analisados neste trabalho, variou de 1,42 a 1,78 g cm⁻³. A área sob Mata Nativa, foi a que apresentou a menor média dentre todas as densidades, 1,51 g cm⁻³, sendo seu valor para a camada mais superficial (0-20 cm) de 1,42 g cm⁻³, e para a camada mais subsuperficial (20-40 cm) de 1,60 g cm⁻³. Tal fato pode ter ocorrido devido a esta se tratar de uma área “virgem”, ou seja, não sofreu nenhum tipo de manejo, sendo, portanto, a densidade do solo menor nessas áreas, do que naquelas observadas em áreas que sofrem algum tipo de manejo. Por outro lado, o Lote 1, foi a área que apresentou maior média, com valor de 1,72 g cm⁻³, fato que pode ter se dado, provavelmente, devido à utilização de máquinas agrícolas pesadas, contribuindo para uma maior compactação nessa área. Se comparada as médias, entre a maior registrada (Lote 1) com a menor (Lote Mata Nativa), o aumento foi de, aproximadamente, 13,91%. Bicalho (2011), em seu trabalho, analisando a densidade do solo sob diferentes sistemas de manejo, obteve resultados semelhantes aos encontrados nesse trabalho, onde a área de Mata Nativa apresentou a menor média geral, dentre todas as áreas analisadas. Entretanto, Nóbrega et al. (2015), encontrou valores de DS, para a área com produção de banana, inferiores aos encontrados neste trabalho para os Lotes 1 e 3, bem como, valores superiores para a camada de 0-20 cm, para a área sob Mata Nativa, porém os valores encontrados pelo mesmo autor diferiram na camada mais subsuperficial (20-40 cm) para a mesma área.

Tabela 6. Densidade do solo (DS), em g cm⁻³, para diferentes lotes e duas profundidades.

Amostra	Camada 0-20 cm	Camada 20-40 cm	Média geral
Lote 1	1,78	1,65	1,72
Lote 2	1,64	1,49	1,56
Lote 3	1,64	1,73	1,69
Lote 4	1,46	1,62	1,54
Mata Nativa	1,42	1,60	1,51
Média geral	1,59	1,62	
Desv. Padrão	0,15	0,09	

Fonte: Acervo do autor (2018).

De acordo com os valores críticos de densidade do solo proposto por Reinert e Reichert (2006), são considerados valores normais, para solos arenosos, a variação entre 1,2 a 1,9 g cm⁻³, enquanto que para os solos argilosos, são considerados os valores que variam de 0,9 a 1,7 g cm⁻³. Diante disso, todos os valores ficaram dentro das variações estabelecidos, sendo, então, considerados valores normais, tanto para solos argilosos quanto para solos arenosos. Segundo Lima et al. (2007), o aumento da densidade do solo acarreta na diminuição da porosidade total,

da condutividade hidráulica, e da macroporosidade, por exemplo, e o aumento da microporosidade e da resistência mecânica à penetração das raízes, o que pode interferir na produtividade das áreas.

A densidade de partícula (DP), apresentado na Tabela 7, para os lotes analisados, variou de 2,48 a 2,71 kg cm⁻³. As áreas que obtiveram as menores médias foram os Lotes 1 e 3, com valores iguais de 2,42 kg cm⁻³. Por outro lado, a área sob Mata Nativa obteve a maior média com valor de 2,70 kg cm⁻³. Diante disso, é possível notar um quadro oposto ao observado na densidade do solo, onde o Lote 1, obteve a maior média, e, a área sob Mata Nativa, a menor, isto pode ter ocorrido, provavelmente, devido a maior quantidade de areia e a baixa presença de argila encontrada nessa área.

Tabela 7. Densidade de partícula em kg cm⁻³, para diferentes lotes e duas profundidades.

Amostra	Camada 0-20 cm	Camada 20-40 cm	Média geral
Lote 1	2,43	2,42	2,42
Lote 2	2,48	2,54	2,51
Lote 3	2,44	2,40	2,42
Lote 4	2,48	2,49	2,48
Mata Nativa	2,70	2,71	2,70
Média Geral	2,51	2,51	
Desv. Padrão	0,11	0,12	

Fonte: Acervo do autor (2018).

Os valores encontrados para a Densidade de partícula (DP), mostraram que os mesmos ficaram entre os valores estabelecidos de 2,3 a 2,9 kg cm⁻³, sendo considerados normais (Reinert & Reichert, 2006). Porém, a densidade média ideal, segundo Reinert & Reichert (2006), é de, aproximadamente, 2,65 kg cm⁻³, podendo-se notar que, apenas a área sob Mata Nativa, obteve valores aproximados ao recomendado. A densidade de partículas, por se tratar de um atributo físico do solo estável, mesmo em profundidade, não apresentou grandes variações (EMBRAPA, 2018; Reinert & Reichert, 2006).

Resultados semelhantes para a densidade de partículas, foram encontrados por Ribeiro et al. (2007), Nóbrega et al. (2015), Bicalho (2011) e Carvalho et al. (2014). Entretanto, os valores encontrados, para este trabalho, foram superiores aos encontrados por Santana et al. (2018).

4.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Na Tabela 8, estão dispostos os valores das análises químicas do solo, referentes aos indicadores de salinização, realizadas para os 5 lotes analisados em uma microbacia localizada no Distrito Irrigado do Baixo-Açu/RN, para o final do período chuvoso (maio) e parte do período seco (julho e setembro) de 2018.

Tabela 8. Resultado das análises químicas para os indicadores de salinização dos solos, para os meses de maio, julho e setembro de 2018.

Identif. e prof. (cm)	Período da coleta	pH	CE _{es}	P	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	PST
			dS m ⁻¹	“-----mg dm ⁻³ -----”	“-----cmol _c dm ⁻³ -----”	(%)					
Lote 1 (0-20)	Maio	8,5	0,43	2,9	147,6	99,2	17,31	0,95	19,16	19,16	3
	Julho	8,0	0,49	3,4	58,8	336,7	11,17	3,2	16,00	16,00	2
	Setembro	7,8	0,55	22,8	125,7	245,1	13,40	2,0	16,65	16,65	3
Lote 1 (20-40)	Maio	8,4	0,54	2,4	76,9	87,3	12,36	0,12	13,04	13,04	3
	Julho	8,0	0,42	2,1	64,1	199,7	12,80	2,3	15,82	15,82	2
	Setembro	8,2	0,31	1,4	180,6	174,6	12,30	1,4	14,93	14,93	5
Lote 2 (0-20)	Maio	8,2	0,96	6,9	313,3	162,3	12,59	0,99	15,36	15,36	9
	Julho	7,9	0,45	12,1	135,8	452,2	7,50	4,1	13,30	13,30	4
	Setembro	7,6	0,44	10,9	461,8	275,5	8,20	4,4	15,28	15,28	13
Lote 2 (20-40)	Maio	8,4	0,47	3,8	254,6	301,0	13,02	2,56	17,46	17,46	6
	Julho	7,6	0,44	4,7	286,6	278,2	8,00	3,3	13,19	13,19	9
	Setembro	7,6	0,37	1,5	448,6	175,0	9,20	3,5	15,09	15,09	13
Lote 3 (0-20)	Maio	8,3	0,47	18,3	80,5	182,9	9,05	2,73	12,60	12,60	3
	Julho	7,7	0,44	23,6	141,4	206,0	7,10	3,7	11,84	11,84	5
	Setembro	7,5	0,29	19,0	126,7	181,0	4,20	2,9	8,12	8,12	7
Lote 3 (20-40)	Maio	8,1	0,25	7,1	68,7	143,3	8,79	2,52	11,98	11,98	2
	Julho	7,8	0,39	4,8	187,3	217,9	6,70	5,6	13,66	13,66	6
	Setembro	7,5	0,22	2,3	398,8	81,2	6,00	5,0	12,95	12,95	13
Lote 4 (0-20)	Maio	7,9	4,65	4,4	398,4	175,3	13,04	1,32	16,54	16,54	10
	Julho	7,6	3,55	18,6	551,3	442,3	14,2	4,1	21,82	21,82	11
	Setembro	7,5	3,53	15,3	571,4	332,9	13,10	3,2	19,67	19,67	13
Lote 4 (20-40)	Maio	7,6	3,97	3,8	414,8	131,3	13,17	0,65	15,97	15,97	11
	Julho	7,5	4,22	5,6	766,3	283,9	14,40	4,3	22,76	22,76	15
	Setembro	7,2	3,94	2,1	1064,1	177,6	17,60	6,4	29,09	29,09	16
Mata Nativa (0-20)	Maio	8,1	1,02	3,0	74,9	122,5	21,34	0,47	22,47	22,47	1
	Julho	7,9	0,76	6,0	48,8	320,2	10,60	3,1	14,74	14,74	1
	Setembro	7,7	0,56	8,1	23,3	245,1	6,70	2,5	9,91	9,91	1
Mata Nativa (20-40)	Maio	7,8	1,84	2,0	156,8	42,2	23,64	0,05	24,49	24,49	3
	Julho	7,7	0,28	3,8	38,9	333,4	7,40	2,4	10,74	10,74	2
	Setembro	7,5	0,30	5,0	29,9	245,1	5,60	1,4	7,81	7,81	2

Média G.	7,8	1,2	7,6	256,5	220,8	11,2	2,8	15,7	15,7	7
Desv. Pad	0,3	1,4	6,7	245,3	101,0	4,5	1,5	4,8	4,8	5
N. Máx.	8,5	4,7	23,6	1064,1	452,2	23,3	6,4	29,09	29,09	16
N. Mín.	7,2	0,2	1,4	23,3	42,2	4,2	0,4	7,8	7,8	1

Fonte: Acervo do autor (2018).

Diante dos resultados de Condutividade Elétrica do estrato de saturação (CE_{es}) dispostos na Tabela 9, pode-se afirmar que, a maioria dos lotes estudados, encontram-se com maiores teores de sais nas camadas de 0–20 cm, ou seja, na superfície, do que nas camadas subsuperficiais de 20–40 cm, exceto os lotes 1 e Mata N, na coleta no mês de maio, e o Lote 4, na coleta do mês de julho e setembro, apresentaram concentrações de sais maiores em subsuperfície. Tal acumulações de sais nas camadas mais superficiais do solo, se dão, provavelmente, por ser justamente nessas camadas onde se concentra os maiores impactos relacionados as práticas de cultivos. O Lote 4, foi a área que apresentou os valores mais altos de CE_{es} , dentre os lotes analisados, com valores variando de 1,53 a 4,65 $dS\ m^{-1}$ na camada de 0–20 cm, e de 3,94 a 4,22 $dS\ m^{-1}$ nas camadas de 20–40 cm. Resultados semelhantes foram encontrados por Albuquerque et al. (2016), onde, analisando o risco de salinização de solos no perímetro irrigado de São Gonçalo/PB, encontraram valores de CE_{es} , variando de 2,6 a 7,77 $dS\ m^{-1}$, em uma área já salinizada. Já Oliveira et al. (2002), avaliando Neossolos Flúvicos, no perímetro irrigado de Custódia/PE, encontrou valores de Ce_{es} , variando de 1,4 a 6,7 $dS\ m^{-1}$. O mesmo autor, cita que a principal causa da salinização dos solos, foram os fatores antrópicos, como o uso de água para irrigação de baixa qualidade, sendo esta a principal responsável pela degradação dos solos estudados. Os valores médios de CE_{es} , para os demais lotes (1, 2, 3 e MN) variaram de 0,22 a 1,84 $dS\ m^{-1}$, sendo estes semelhantes aos encontrados por Resende et al. (2014), onde, avaliando a distribuição espacial e lixiviação natural de sais em solos do Perímetro Irrigado Califórnia/SE, encontrou valores médios de Ce_{es} , variando de 0,47 a 1,10 $dS\ m^{-1}$, demonstrando que os solos são caracterizados como normais quanto a problema da salinidade.

A classificação, quanto aos solos afetados por sais, foi realizada de acordo com os critérios propostos por Bohn et al. (1985) (Tabela 2). Diante disso, a maioria dos lotes analisados (Lote 1, 2 e 3), em ambas as profundidades, foram classificados em solos normais (Tabela 10), visto que os valores encontrados para CE_{es} , foram menores que 2 $dS\ m^{-1}$, para a PST valores menores que 15% e o pH valores menores que 8,5. A exceção se deu para o Lote 4, onde os valores encontrados para os meses de maio e julho, foi classificado como Solo Salino, visto que os valores para a CE_{es} , foram maiores que 2 $dS\ m^{-1}$, os valores de PST foram menores

que 15% e os valores para pH menores que 8,5. Entretanto, o mesmo lote (Lote 4), obteve classificação, para o mês de setembro, como Solo Salino na camada de 0-20 cm, e solo salino-sódico na camada mais profunda de 20-40 cm (Tabela 10). Tal distinção na classificação, entre camadas para o mesmo período, pode ter ocorrido devido à falta de um sistema de drenagem e/ou a volta das atividades, como plantio e irrigação, no referido lote, fazendo-se com que houvesse uma translocação de parte dos sais da superfície para a subsuperfície, visto que os teores de Na^+ chegaram a ordem de $1065,1 \text{ mg dm}^{-3}$, na camada mais subsuperficial.

Tabela 9. Resumo da classificação dos solos analisados segundo a metodologia proposta por Bohn et al. (1985).

Identificação e prof. (cm)	Período da coleta	Classificação
Lote 1 (0-20)	Maio	Solo Normal
	Julho	Solo Normal
	Setembro	Solo Normal
Lote 1 (20-40)	Maio	Solo Normal
	Julho	Solo Normal
	Setembro	Solo Normal
Lote 2 (0-20)	Maio	Solo Normal
	Julho	Solo Normal
	Setembro	Solo Normal
Lote 2 (20-40)	Maio	Solo Normal
	Julho	Solo Normal
	Setembro	Solo Normal
Lote 3 (0-20)	Maio	Solo Normal
	Julho	Solo Normal
	Setembro	Solo Normal
Lote 3 (20-40)	Maio	Solo Normal
	Julho	Solo Normal
	Setembro	Solo Normal
Lote 4 (0-20)	Maio	Solo Salino
	Julho	Solo Salino
	Setembro	Solo Salino
Lote 4 (20-40)	Maio	Solo Salino
	Julho	Solo Salino
	Setembro	Solo Salino-Sódico
Mata Nativa (0-20)	Maio	Solo Normal
	Julho	Solo Normal
	Setembro	Solo Normal
Mata Nativa (20-40)	Maio	Solo Normal
	Julho	Solo Normal
	Setembro	Solo Normal

Fonte: Acervo do autor (2018).

Não houve, durante o procedimento de análise, solos classificados como sódicos, uma vez que nenhum dos resultados apresentou Condutividade Elétrica do Extrato Saturado (CE_{es}) inferior a 2 dS m^{-1} , $\text{PST} > 15$ e $\text{pH} > 8,5$, conforme metodologia proposta por Bohn et al. (1985).

No recorrente aos resultados de pH, das áreas analisadas, em ambas as profundidades, pode-se observar o menor valor encontrado no Lote 4 (20-40 cm) de 7,2, e seu maior valor foi encontrado no Lote 1 (0-20 cm) sendo este de 8,5. Portanto, no geral, os valores médios de pH ficaram próximos a neutralidade ou moderadamente alcalinos. Segundo a EMBAPA (2018), o pH 6, seria o valor ideal, visto que nessas condições não há problemas com a indisponibilidade de micronutrientes e não apresenta níveis de toxidez por alumínio, por exemplo. Os altos valores de pH, podem estar relacionados, provavelmente, à influência da formação geológica do Calcário Jandaíra, que segundo Melo et al. (2017), apresenta estratos com rochas básicas ricas em carbonatos, o que permite fornecer quantidades significativas de cálcio e magnésio. Kiehl (1979), cita que valores de pH entre 8,0 e 8,5 indicam a presença de carbonato de cálcio e/ou magnésio.

Os teores de P, nos lotes analisados, variaram bastante dentro das próprias camadas, isto pode ter ocorrido devido a espacialidade das amostras coletadas dentro das áreas e, também, tal variação, possivelmente, pode estar atrelada a adubação que é realizada na área de estudo, já que se tratam de áreas produtivas. Entretanto, as maiores concentrações desse elemento químico, podem ser encontradas na camada superficial (0-20 cm), se comparadas com as camadas mais subsuperficiais do solo (20-40 cm). Resultado semelhantes foram encontrados por Silveira et al. (2010), onde, avaliando os atributos químicos em diferentes sistemas de cobertura, encontraram maiores teores de P, na camada de 5-20 cm de profundidade. Os menores valores de P, podem ser encontrados na área com Mata Nativa, sendo tais resultados já esperados, visto que a ocorrência desse elemento em solos dessa região, que não sofreram nenhum tipo de manejo, é considerada baixa.

No que tange aos teores de Na^+ , a área em que estava sob o domínio da Mata Nativa, em ambas as camadas analisadas, foi a que apresentou menores valores para esse elemento, chegando a $23,3 \text{ mg dm}^{-3}$, o que pode-se, possivelmente, ter se dado devido a referida área não estar sob uso e/ou manejo agrícola, o que permite a sua baixa acumulação. Por outro lado, o Lote 4, em ambas as camadas, foi a área que apresentou maiores valores de Na^+ , se comparado com as demais áreas analisadas, chegando a valores de $1064,1 \text{ mg dm}^{-3}$, mostrando que, se não tomada as devidas medidas de manejo e controle da salinidade, essa área poderá ficar completamente inutilizada para a agricultura. Segundo Gheyi (2000), os solos salinos são facilmente identificados em condições naturais, pois é possível a observância de uma crosta branca, na superfície do solo, e por encontrarem-se normalmente flocoados, devido à presença de sais em excesso, associada à ausência de quantidades significativas de sódio trocável. Tal fato corrobora com o que foi observado em campo, onde existia a presença de crostas brancas sob o solo, bem como, uma quantidade abundante de *Blutaparon portulacoides*, mais conhecida

popularmente como Pirrixiu, uma planta indicadora, tolerante a altos níveis de sais do solo, conforme pode ser observado na Figura 16. Outro fator de relevante importância, que pôde ser observado no lote 4, foi a pobreza, visto que, a família irrigante que lá reside, possuem poucos recursos financeiros, devido a área apresentar problemas de salinização, o que os impede de plantar a maioria das culturas e obter renda para o próprio sustento.

Figura 16. Presença da planta Pirrixiu e de manchas esbranquiçadas na superfície do Lote 4, localizado no DIBA.



Fonte: Acervo do Autor (2018).

Diante dos resultados de K^+ , pode-se observar que na maioria dos lotes, no decorrer do tempo, houve um decréscimo desse elemento em profundidade, sendo os valores mais altos encontrados, em sua maioria, na camada mais superficial (0-20 cm) do solo. Dado encontrados para K^+ , por Silveira et al. (2010), corroboraram com os dados desse trabalho, onde ocorreu decréscimo desse elemento em profundidade. O menor valor de K^+ , encontrado para esse estudo, foi de $42,2 \text{ mg dm}^{-3}$, para a área sob Mata Nativa (20-40 cm), na coleta realizada em maio, enquanto que o seu maior valor encontrado foi de $452,2 \text{ mg dm}^{-3}$, no Lote 2 (0-20 cm), na coleta realizada em julho. Já os resultados de Mg^{2+} , também obtiveram os menores resultados na área sob Mata Nativa, em ambas as camadas, ao passo que o Lote 4, na profundidade de 20-40 cm, na coleta de setembro, apresentou o maior valor, sendo este de $6,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Já para os resultados referente aos teores de Ca^{2+} , pode-se observar um resultado oposto ao encontrado para o K^+ , onde na área sob Mata Nativa, em ambas as camadas, para a coleta realizada em maio, apresentaram os maiores valores desse elemento. Isto, provavelmente, se deu devido as características dos solos da região (calcário), visto que na coleta foi possível

observar a presença de partículas brancas de calcário, o que, poderia justificar os valores altos em uma área não manejada com presença da vegetação nativa.

O Percentual de Sódio Trocável (PST), variou de 1 a 16%, em todos os lotes analisados. Os menores percentuais de sódio trocáveis podem ser observados na área sob Mata Nativa (Figura 20), na profundidade de 0-20 cm, com valores de 1%. Por outro lado, o Lote 4, apresentou os maiores valores de PST, variando de 10 a 16%, isso pode estar relacionado, provavelmente, ao acúmulo natural de sais nas regiões mais baixas onde estão localizadas as linhas de drenagem natural. Foi possível observar valores altos de PST (13%) no lote 2, em ambas as profundidades, para o período de setembro, e para o lote 3 (13%), na profundidade de 20-40 cm, para o mesmo período do lote anterior. Holanda & Amorim (1992), cita que, elevados valores de PST, sobretudo sob condições de baixa salinidade, causam a dispersão de partículas do solo com redução na condutividade hidráulica do mesmo. Os valores de percentagem de sódio trocável (PST), obtidos por Primo et al. (2018), avaliando o potencial fertilizante da serapilheira da Caatinga na recuperação de um solo degradado, foram semelhantes aos valores encontrados para esse trabalho.

De acordo com a classificação dos solos, quanto a PST, proposta por Massoud (1971), a maioria dos solos variaram de não sódicos (PST <7) a ligeiramente sódicos (PST 7 – 10). Entretanto, o Lote 4 obteve classificação diferente das demais áreas, sendo estes classificados como Medianamente Sódicos (PST 11 – 20).

Figura 17. Área de Mata Nativa com a presença da caatinga hiperxerófila no DIBA/RN.



Fonte: Acervo do Autor (2018).

Diante dos dados apresentados, é notório perceber que, a maioria dos lotes analisados, não apresentam problemas no que se refere a salinização, sendo inclusive classificados como

solos normais, segundo metodologia proposta por Bohn et al. (1985). Entretanto, foi possível observar o acúmulo de sais, na maioria dos lotes, com o passar do tempo, sendo necessária a adoção de práticas que visem o controle da salinidade, a fim de conter esse processo, e a mesma não possa surgir em um futuro próximo. O Lote 4, por outro lado, é uma área que já enfrenta problemas de salinização, prejudicando e até limitando o crescimento e o desenvolvimento de certas culturas menos sensíveis aos sais. Lima et al. (2016), cita que a lixiviação, ou seja, a lavagem dos sais com aplicações de lâminas extras de água, é a forma mais efetiva para controlar o problema de salinidade, bem com a construção de sistemas de drenagem subterrânea, a fim de coletar e conduzir, para fora das áreas irrigadas, as águas salinas. Cavalcante et al. (2016), cita que, a lavagem do solo já é suficiente para a recuperação das áreas salinas, pois os sais, por já estarem diluídos no solo, são facilmente carregados pela água. Entretanto, em solos salino-sódicos e sódicos o uso de melhoradores ou corretivos químicos se faz necessário, visto que os mesmos promovem uma melhor remoção do sódio que está adsorvido à micela do solo, por meio da adição de substâncias que contenham, preferencialmente, cálcio, pois o cálcio desloca o sódio do complexo de troca para a solução que em seguida é lixiviado por meio da lavagem. É importante citar que, embora haja vários drenos no DIBA, os mesmos fazem parte da infraestrutura do empreendimento, sendo necessário, portanto, a implantação de drenos dentro das áreas irrigadas, para que, assim, possam conecta-las à infraestrutura existente.

O uso de técnicas auxiliares, também, pode ser empregado, a fim de aumentar a eficiência das técnicas fundamentais, como técnicas mecânicas (aração profunda e subsolagem), biológicas (aplicação de adubos orgânicos) e termelétricas (Cavalcante et al., 2016). Além dessas, outras recomendações são necessárias, como a adequação da técnica de irrigação ao tipo de solo usado; cobertura do solo; emprego de rotação de culturas; uso de plantas tolerantes aos níveis de salinidade; e, plantio direto para culturas anuais (Rodrigues & Irias, 2004).

4.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DA ÁGUA

Na Tabela 5, estão apresentados os resultados das análises químicas da água bruta, para coletas realizadas nos meses de maio, julho e setembro de 2018. As amostras foram identificadas como P1 – Captação no rio Açu; P2 – Piscina de armazenamento de água; P3 – Dreno 1; P4 - Dreno 2; P5 – Poço; P6 – Açude utilizado para desague da água de irrigação.

Tabela 10. Resultado das análises químicas da água bruta para os meses de maio, julho e setembro de 2018.

Pontos amostrais	Período da coleta	pH	CE	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ³⁻	RAS ^o
			dS m ⁻¹	“-----mmolc L ⁻¹ -----”							
P1	Maio	8,4	0,29	0,18	2,09	0,72	0,46	2,00	0,40	1,80	2,43
	Julho	7,9	0,22	0,18	1,51	0,60	0,36	1,80	0,30	1,60	1,9
	Setembro	7,5	0,23	0,15	1,05	0,23	0,71	1,60	0,30	1,00	1,3
P2	Maio	8,4	0,44	0,35	2,96	0,76	1,12	14,0	0,60	7,30	3,36
	Julho	8,2	0,23	0,19	1,90	0,58	0,42	2,40	0,40	1,40	2,2
	Setembro	7,4	0,24	0,15	1,22	0,23	0,71	2,20	0,20	1,20	1,5
P3	Maio	7,8	1,56	0,37	13,00	8,75	1,35	5,00	0,00	3,70	8,06
	Julho	7,8	6,12	1,08	93,87	12,63	22,12	59,20	0,50	5,60	25,8
	Setembro	7,7	3,26	0,77	17,93	5,03	10,82	27,14	0,40	3,40	6,8
P4	Maio	8,0	1,71	0,35	14,74	7,10	9,50	15,0	0,40	4,20	5,86
	Julho*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Setembro*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P5	Maio	7,3	1,83	0,24	10,81	11,50	4,45	15,0	0,00	4,70	5,26
	Julho	7,0	2,30	0,90	12,87	10,16	7,40	18,00	0,00	6,30	4,0
	Setembro*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P6	Maio*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Julho	8,5	0,33	0,21	1,51	1,21	1,02	2,40	0,40	2,0	1,4
	Setembro	8,1	0,31	0,19	1,57	0,82	1,10	2,00	0,60	1,40	1,4
	Média Geral	7,9	1,4	0,4	12,6	4,3	4,4	12,0	0,3	3,3	5,1
	Desv. Pad.	2,1	1,7	0,3	23,5	4,7	6,1	15,6	0,2	2,2	6,3
	V. Máx.	8,5	6,1	1,1	93,9	12,6	22,1	59,2	0,6	7,3	25,8
	V. Min.	7,0	0,2	0,2	1,1	0,2	0,4	1,6	0,0	1,0	1,3

*Não foi possível realizar a coleta de dados.

Fonte: Acervo do autor (2018).

Ayers & Westcot (1999), desenvolveram algumas diretrizes para a interpretação dos resultados referentes a qualidade da água utilizada na irrigação. Dentre as quais a salinidade, que leva em consideração a Condutividade Elétrica (CE) da água de irrigação, classificando-a, em relação ao grau de restrição ao uso, como nenhuma (<0,7 dS m⁻¹), ligeira e moderada (0,7 – 3,0 dS m⁻¹) e severa (>3,0 dS m⁻¹). Diante disso, as amostras P1, P2 e P6, podem ser classificadas, para todos meses analisados, como Nenhum grau de restrição ao uso, podendo ser utilizada na maioria das culturas, pois não apresentam nenhum efeito prejudicial as plantas e/ou ao solo. Resultados encontrados por Franco & Hernandez (2009), analisando a CE da água em um córrego, na microbacia do Coqueiro em São Paulo, foram semelhantes aos encontrados nesse trabalho, onde não há risco de salinização do solo, sendo classificados como nenhuma restrição ao uso na irrigação. No que se refere as amostras P4 e P5, as mesmas podem ser classificadas, para todos os meses analisados, quanto ao grau de restrição ao uso como Ligeira e Moderada, onde exige-se um cuidado maior na seleção de culturas, bem como das alternativas de manejo para alcançar o máximo rendimento. Entretanto, a amostra P3, variou bastante no

período analisado, no mês de maio fora classificada como Ligeira e Moderada, já para os demais meses, ocorreu uma piora em sua classificação, sendo classificada, quanto ao grau de restrição ao uso, como Severo, ou seja, implica no aparecimento de problemas nas culturas e/ou no solo, representando reduções nos rendimentos, sendo necessária a adoção de práticas de manejo mais efetivos, bem como uma elaboração de um plano de operação específico para a utilização dessa água.

Em relação ao parâmetro de infiltração (Tabela 3), que, também, fora desenvolvida por Ayers & Westcot (1999), onde cruza-se os valores de CE e da RAS, as amostras P1, P2 e P6 podem ser classificadas quanto ao grau de restrição ao uso como ligeira e moderada, para todos os meses analisados. Já as amostras P4 e P5, foram classificadas quanto ao grau de restrição ao uso como Nenhum. A amostra P3, para a coleta realizada no mês de maio, foi classificada como Ligeira e Moderada, entretanto, apresentou uma melhora, saindo da referida classificação para nenhuma restrição ao uso, nos meses seguintes.

De acordo com a classificação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos da América (Richards, 1954), as amostras P1 e P2, com resultados de 0,29 e 0,44 dS/m, respectivamente, podem ser classificadas, para o mês de maio, quanto aos riscos de salinidade, como C2. Porém, nos meses seguintes, tais amostras apresentaram uma melhora na sua classificação, apresentando CE, com valores abaixo de 0,25 dS m⁻¹, sendo classificadas como C1. A amostra P3, pode ser classificada, para a coleta no mês de maio, quanto ao risco de salinidade, como C3, entretanto, para o mês de julho apresentou uma piora em sua classificação, visto que apresentou valor da CE de 6,12 dS m⁻¹, sendo classificada como C5, uma água de salinidade extremamente alta (5,00 a 10,00 dS m⁻¹), embora que no mês de setembro, tenha ocorrido uma ligeira melhora na classificação, apresentando valor da CE de 3,26 dS m⁻¹, podendo ser classificada como C4, uma água de salinidade muito alta (2,25 a 5,00 dS m⁻¹). As amostras P4 e P5, com resultados encontrados, para o mês de maio, de 1,71 e 1,83 dS m⁻¹, respectivamente, podem ser classificadas, como C3, embora que, no mês seguinte, a amostra tenha apresentado uma piora, visto que o resultado da CE foi de 2,3 dS m⁻¹, sendo classificada como C4. Já a amostra P6, pode ser classificada, nos meses analisados, como C2.

Em relação ao perigo de sodificação, segundo o diagrama de classificação de águas para irrigação (Richards, 1954) (Figura 19), as amostras P1 e P2, podem ser classificadas, para o mês de maio, como C2S1 – água com média salinidade e baixo teor de sódio, podendo ser utilizada em quase todos os tipos de solo (Cordeiro, 2001), porém para os meses seguintes, ambas amostras apresentaram uma melhora em sua qualidade, saindo da classificação C2S1 para C1S1. Resultados distintos foram encontrado por Oliveira & Maia (1998), analisando a qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do

estado do RN, onde as amostras provenientes do baixo Açú foram classificadas, conforme Ayers & Westcot, como C2S2. Enquanto que as amostras P4 e P5, podem ser classificadas, para o mês de maio, como C3S1, embora que, a amostra P5, tenha apresentado uma piora em sua qualidade no mês seguinte, sendo classificada como C4S1, risco muito alto de salinização e baixo risco de sodificação. A amostra P6, foi classificada, para os meses analisados, como C2S1, apresentando risco de salinidade médio e baixo teor de sódio.

A amostra P3, foi classificada como C3S2, alto risco de salinidade e médio risco de sodicidade, para o mês de maio, entretanto, apresentou uma piora considerável em sua qualidade, onde fora classificada, no mês de julho, como C5S4, apresentando riscos de salinidade extremamente alta e de sodicidade muito alto. Comparando-se os resultados da coleta de setembro, com coletas anteriores, percebe-se que a amostra P3 (Figura 18), houve uma melhora significativa em sua qualidade, embora ainda tenha apresentado classificação C4S2, o que representa risco muito alto de salinidade e risco médio de sodicidade, devendo apenas serem utilizadas em solos com boa permeabilidade ou de textura arenosa.

Figura 18. Imagem do P3 (Dreno), onde apresentou maiores teores de sais.

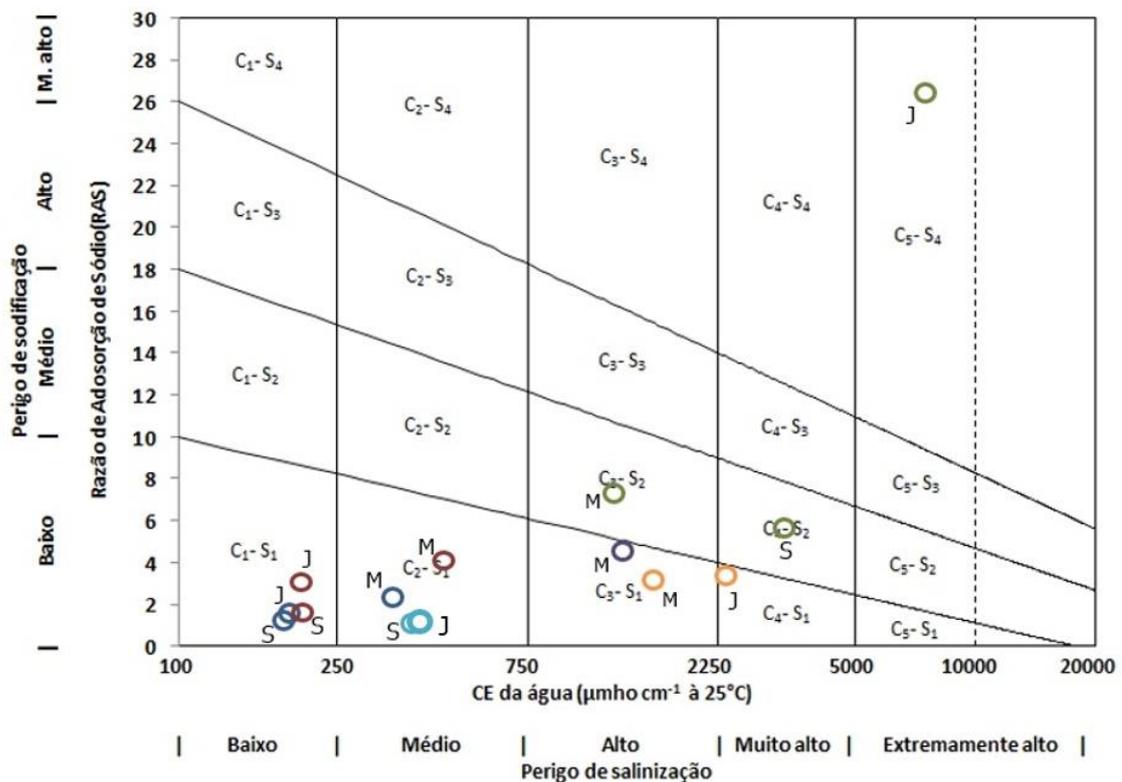


Fonte: Acervo do autor (2018).

De acordo com classificação desenvolvida por Ayers & Westcot (1999), para a avaliação do risco de toxicidade as plantas (Tabela 4), as amostras P1, P2 e P6, podem ser

classificadas, para todo o período analisado, como T1 – risco nenhum de toxicidade para as plantas com aplicação da água por superfície ou aspersão, visto que os valores encontrados para Na^+ , ficaram abaixo $3 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$. Thebaldi et al. (2013), avaliando a qualidade da água para irrigação de um córrego após receber efluente tratado de abate bovino, encontrou resultados semelhantes, onde nenhum dos pontos analisados, apresentou restrição ao uso para irrigação por superfície ou por aspersão, apenas o efluente tratado apresentou restrição moderada, para a irrigação por aspersão. Por outro lado, as amostras P3, P4 e P5, tem seu valor de Na^+ , acima de $9 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, para irrigação por irrigação por superfície, sendo classificadas como T3 – severo risco de toxicidade as plantas. As mesmas amostras ainda foram classificadas como T2 – risco moderado de toxicidade para as plantas, visto que seus valores foram superiores a $3 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, para irrigação por aspersão, de acordo com a classificação desenvolvida por Ayers & Westcot (1999).

Figura 19. Diagrama de classificação de águas para irrigação elaborada por Richards (1954).



Legenda: (M – Maio; J – Julho; S – Setembro)

● P1 ● P2 ● P3 ● P4 ● P5 ● P6

Fonte: Adaptado de Richards (1954).

Os valores de pH das amostras analisadas estão na faixa do normal, entre 6,5 e 8,4, segundo determina Ayers & Westcot (1999). Isto indica que, para os fins de irrigação, não apresentaram problemas quanto ao encrustamento e/ou problemas com corrosão nas tubulações.

Por outro lado, Nakayama (1982), menciona que não há restrição para águas com pH abaixo de 7; restrição moderada para águas com pH entre 7 e 8; e, severa restrição para pH acima de 8, em relação à obstrução de emissores para irrigação localizada. Hermes & Silva (2002), citam que a presença de bicarbonato na água tende a influenciar o pH, fazendo com que os valores deste possam ser mais elevados.

No que se refere aos valores da Relação de Adsorção de Sódio (RAS^o), todas as amostras foram consideradas normais em água de irrigação, conforme determina Ayers & Westcot (1999), onde definiram a faixa considerada normal entre 0 e 15 (mmol/L)^{1/2}. Entretanto, o P3, no período de coleta no mês de julho, foi obtido o valor de 25,8 (mmol/L)^{1/2}, sendo este superior a faixa determinada.

Observando-se a concentração de cátions (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺) pode-se afirmar que, todos os valores de Cálcio (Ca²⁺), encontrados nas amostras analisadas ficaram dentro da faixa de valores, determinados por Ayers & Westcot (1999), entre 0 - 20 mmol_c L⁻¹, sendo considerados valores normais em água de irrigação. Os valores para Magnésio (Mg²⁺), encontrados para as amostras P1, P2 e P6, ficaram dentro da faixa de 0 - 5 mmol_c L⁻¹, determinados pelo mesmo autor, porém as amostras P3 e P4, apresentaram valores bem superiores, o destaque foi a amostra P3 com valor de 22,12 mmol_c L⁻¹. Valores encontrados por Andrade Júnior et al. (2006), em seu trabalho avaliando a qualidade das águas subterrâneas utilizadas para irrigação no estado do Piauí, corroboraram com os dados encontrados nesse trabalho, onde os valores de Mg²⁺, ficaram dentro da faixa estipulada, enquanto que, os valores para Ca²⁺, para este trabalho, diferiram dos resultados encontrados pelo autor supracitado. A amostra P5, na primeira coleta realizada em maio, o valor de Magnésio (Mg²⁺), estava dentro da faixa recomendada (0-5 mmol_c L⁻¹), porém, na coleta seguinte, a mesma ficou acima da faixa de valores estipulados, não sendo considerada valores normais em água de irrigação. Já os valores encontrados para sódio (Na⁺), variaram de 1,05 a 93,87 mmol_c L⁻¹, sendo apenas as amostras P1, P2 e P6 foram inferiores ao valor de 3 mmol_c L⁻¹, sendo classificadas quanto grau de restrição para uso na agricultura como nenhum, para irrigação por aspersão, podendo ser utilizada na maior parte dos solos e em diversas culturas (Ayers & Westcot, 1999). A dureza total da água, é expressa por meio da soma das concentrações de Ca²⁺ + Mg²⁺, presentes na água de irrigação (Sá, 2012).

Resultados semelhantes foram encontrados por Barroso et al. (2011), em seu trabalho avaliando a qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará, onde o mesmo obteve valores de Na⁺, para águas superficiais no município de Jucá/CE, variando de 0,62 a 2,46 mmol_c L⁻¹. Por outro lado, as demais amostras (P3, P4 e P5) se mostraram muito acima do valor estipulado, o que permitiu classifica-las quanto ao grau de restrição ao uso como

Ligeira e Moderada, necessitando de um maior cuidado na seleção das culturas, bem como das alternativas de manejo a fim de se alcançar o máximo rendimento. O destaque na concentração de Na^+ , foi a amostra P3, que alcançou o valor de $93,87 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$.

Em relação a concentração de Ânions (Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^-), os valores de concentração encontrados para o Cloreto (Cl^-), para as amostras P1, P2 e P6, obtiveram valores abaixo dos estipulados por Ayers & Westcot (1999), de $3 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, para irrigação por aspersão, e menores que $4 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, para irrigação por superfície, podendo ser classificadas como grau de restrição para o uso como nenhum, embora que, a coleta realizada no mês de maio, a amostra P2, tenha apresentado valores bem acima dos citados, sendo, inclusive classificada como Severo grau de restrição ao uso. Enquanto que, as amostras P3, P4 e P5, foram classificadas quanto ao grau de restrição ao uso para irrigação em Ligeira e Moderada, para irrigação por aspersão, e, severa restrição ao uso, para irrigação por superfície, visto que os valores encontrados foram acima de $10 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, esta última classificação se restringe a amostra P3, no período de coleta de maio, pois a mesma pode ser classificada como grau de restrição ao uso em Ligeira e Moderada.

Os valores encontrados para o Carbonato (CO_3^{2-}), nas amostras P1, P2, P3 e P6, foram superiores, a faixa de $0 - 0,1 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, determinada por Ayers & Westcot (1999), não sendo considerado valores normais para a água de irrigação. As únicas exceções foram as amostras P5 e a amostra P3 (maio), onde não foi possível observar a presença desse elemento químico. No que se refere os teores de Bicarbonato (HCO_3^-), todos os valores ficaram dentro da faixa de $1,5$ a $8,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, sendo classificados como Ligeira e Moderada, no diz respeito ao grau de restrição de uso da água para irrigação por aspersão convencional (Ayers & Westcot, 1999), embora que as amostras P1 e P6, na coleta realizada no mês de setembro, e a amostra P2, nos meses de julho e setembro, tenham apresentado valores menores que $1,5 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$, onde, neste período, puderam ser classificadas como nenhum grau de restrição ao uso dessas águas na agricultura. Segundo Ayers & Westcot (1985), elevados teores de HCO_3^- e CO_3^{2-} , na água de irrigação, podem causar a precipitação de Ca^{2+} , na forma de Carbonato de Cálcio (CaCO_3), facilitando o processo de sodificação do solo.

Analisando a Tabela 5, ainda é possível observar um aumento gradual e bastante significativo da Condutividade Elétrica (CE), desde a captação (P1) até o dreno 2 (P4), visto que a água coletada no dreno, para fins de análise, é a mesma água que foi captada no rio e que foi utilizada para fins de irrigação no perímetro do DIBA, sendo estes, para o mês de maio, na ordem de 51,7%, do ponto 1 ao 2, 254,6% do ponto 2 ao 3, e 39,6% do ponto 3 ao 4. Se comparado apenas o P1 e o P4, para o mesmo período, o aumento na CE foi de, aproximadamente, 490%. Como não foi possível a coleta do P4, nos meses seguintes, visto que o mesmo encontrava-se seco, talvez devido a paralização de parte das atividades nas áreas

analisadas, comparou-se os dados de P1 e P3 e foram observados aumentos ainda mais significativos, como na ordem de, aproximadamente, 438% em maio, 2682% em julho, e, 643,5% em setembro. Entretanto, é possível observar que houve redução significativa na CE, no P6 (manancial de desague final da água de irrigação), isso pode ter ocorrido, provavelmente, pela diluição dos sais em água, já que se trata de um manancial de tamanho considerável. Segundo Smedema & Shiati (2002), os impactos da irrigação na elevação da salinidade das águas dos rios estão diretamente relacionados com a retirada da água, de boa qualidade, dos mananciais, como rios, lagos, lagoas, dentre outros, a fim de atender a demanda da irrigação, que, após o uso, retornam aos mananciais com uma qualidade inferior, acarretando na degradação da qualidade da água à jusante das áreas irrigadas.

O mesmo ocorreu com o Na^+ , considerando os pontos desde a captação (P1) até o dreno 2 (P4), houve um aumento gradual na concentração desse elemento, para o mês de maio, na ordem de 42% do ponto 1 ao 2, 340% do ponto 2 ao 3, e, 13,4% do ponto 3 ao 4. Se comparado, apenas, a água da captação (P1) e do dreno 2 (P4), o aumento da concentração de Na^+ , na água de irrigação, alcançou valores aproximados de 605,3%. Comparando-se os dados de Na^+ , para P1 e P3, foi observado concentrações desse elemento ainda maiores, chegando a alcançar patamares de, aproximadamente, 6117% no mês de julho, e de 1608% no mês de setembro. Portanto, sabendo-se que a água ao evaporar, devido as condições climáticas da região, com altas taxas de evapotranspiração e baixas taxas de precipitação pluviométrica, os sais ficam retidos no solo e acabam por acelerar o processo de salinização dos mesmos, podendo-se afirmar que a prática da irrigação, na região estudada, tem ocasionado um incremento de salinidade nos solos e no rio Açu, onde é feita a captação de grande parte da água utilizada no Perímetro Irrigado do Baixo-Açu/RN.

4.4 ANÁLISE DA ESTATÍSTICA MULTIVARIADA

Observou-se, na matriz de correlação entre os atributos químicos do solo (Tabela 11), correlações significativas (sublinhado e em negrito) para a todos os elementos químicos analisados. A CE_{es} apresentou correlações positivas com Na^+ , Ca^{2+} , CTC e PST. A CE, refere-se à quantidade de sais solúveis, sendo diretamente proporcional à quantidade de íons presentes no solo (Ribeiro et al., 2007).

Ao avaliar o atributo pH, verificou-se correlações positivas com Na^+ , Mg^{2+} e PST. Enquanto que o Na^+ , se correlacionou positivamente com o Mg^{2+} , CTC e PST. Os demais atributos do solo como o Ca^{2+} e Mg^{2+} , se correlacionaram positivamente com a CTC e a PST, respectivamente. Por outro lado, o P, apresentou correlações positivas apenas com o K^+ , sendo

esta uma variável quase independente, ou seja, sua importância poderia ser tão fundamental, que nenhuma outra variável poderia substituí-la.

Tabela 11. Matriz de correlação por Pearson entre as variáveis dos atributos químicos do solo nas áreas em estudo no DIBA-RN.

Variáveis	CE _{es}	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	PST
CE _{es}	1,00								
pH	-0,35	1,00							
P	-0,01	-0,14	1,00						
K ⁺	0,08	-0,21	<u>0,37</u>	1,00					
Na ⁺	<u>0,73</u>	<u>-0,54</u>	-0,06	0,08	1,00				
Ca ²⁺	<u>0,46</u>	0,24	-0,28	-0,29	0,28	1,00			
Mg ²⁺	0,10	<u>-0,51</u>	0,19	<u>0,41</u>	<u>0,55</u>	-0,34	1,00		
CTC	<u>0,63</u>	-0,07	-0,20	-0,07	<u>0,65</u>	<u>0,88</u>	0,13	1,00	
PST	<u>0,60</u>	<u>-0,57</u>	-0,01	0,04	<u>0,92</u>	0,04	<u>0,53</u>	<u>0,40</u>	1,00

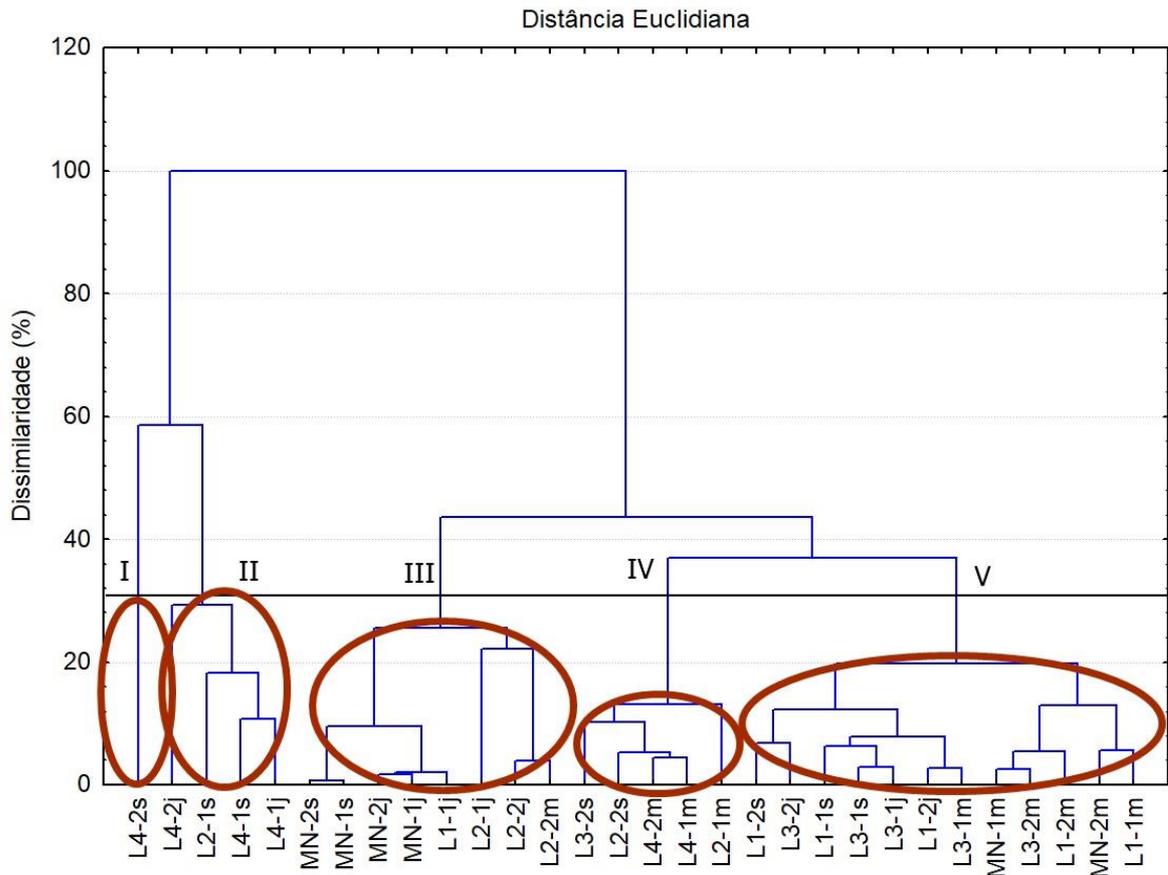
Nota: pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; P – fósforo; K⁺ – potássio; Na⁺ – sódio; Ca²⁺ – cálcio; Mg²⁺ – magnésio; CTC – capacidade de troca catiônica potencial; PST – Porcentagem de sódio trocável.

Fonte: Acervo do Autor (2018).

Os resultados das análises de agrupamento, quanto aos 5 lotes (L1, L2, L3, L4 e MN) analisados em uma microbacia no DIBA, nas profundidades de 0-20 cm (1) e 20-40 cm (2), no período que compreende os meses de maio (m), julho (j) e setembro (s), em função das variáveis de salinidade do solo (CE, pH, P, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, CTC e PST) estão representados na Figura 20. Estas variáveis foram analisadas conjuntamente, visto que, geralmente, não são independentes, porém atuam de forma conjunta quanto a degradação dos solos.

No dendograma da Figura 20, que fora obtido pela análise de agrupamentos, o eixo “X”, representa os grupos unidos por ordem crescente de semelhança (similaridade), e o eixo “Y”, indica as distâncias entre os grupos formados (dissimilaridade). Esta análise de agrupamento foi realizada a fim de verificar a formação dos grupos no dendograma, ou seja, aquelas amostras que possuíam valores médios aproximados das variáveis analisadas, que estão intimamente relacionadas com a salinidade do solo, o que permitiu a formação de grupos homogêneos, enquanto que as variáveis que apresentaram uma média diferenciada das demais, formaram os grupos heterogêneos. Ribeiro Filho et al. (2017), cita que a formação de grupos distintos expressa a alta variabilidade temporal dos eventos, o que é característico da região semiárida.

Figura 20. Dendrograma vertical da matriz de distâncias, pelo método de agrupamento por ligação simples.



Fonte: Acervo do Autor (2018).

Os grupos foram definidos de acordo com uma linha traçada, no dendrograma, paralela ao eixo horizontal (eixo “X”), a qual foi definida com base no critério da maior distância reescalada entre os grupos. Diante disso, foi possível a formação de cinco grupos distintos (I, II, III, IV e V), nas três coletas realizadas, para esse trabalho, sendo a numeração dos grupos realizada da esquerda para direita, o que definiu a forma de leitura do dendrograma. Andrade et al. (2011), analisando as mudanças do status salino do solo, pelo emprego de análise multivariada, encontrou uma formação de três grupos distintos, para os parâmetros de salinidade do solo analisados.

O grupo I, é formado apenas pelo lote 4, na profundidade de 20-40 cm, para a coleta realizada no mês de setembro, e se configurou como a área que possui a maior quantidade de sais, ou seja, a área mais salinizada, dentre todas as demais áreas analisadas, corroborando com as análises químicas realizadas, visto que essa área foi classificada, segundo a metodologia proposta por Bohn et al. (1985), como solo salino-sódico.

O grupo II, formado pelo lote 4 (em ambas as profundidades, para o mês de julho, e para a profundidade de 0-20, para o mês de setembro) e lote 2 (para profundidade de 0-20 cm, para

o mês de setembro), foram as áreas que, assim como no grupo I, apresentaram os maiores problemas com salinidade, ou seja, áreas em que foi possível observar os mais altos teores de sais, dentre todos os lotes analisados, embora em níveis pouco inferiores àqueles registrados no grupo I. O Lote 4, aparece como maior representante deste grupo, fato que corrobora com o que fora observado em campo, visto que esta se trata de uma área com problemas de salinização, o que pode ser observado, também, nos dados das análises químicas realizadas, onde o mesmo foi classificado, segundo a metodologia proposta por Bohn et al. (1985), como solo salino. O fato do lote 2, ter aparecido neste grupo, pode ter se dado devido ao mesmo apresentar uma homogeneidade com o lote 4, em relação aos elementos como pH, Na⁺, K⁺ e PST, visto que ambos obtiveram resultados semelhantes. Este grupo, em conjunto com o grupo I, ainda é possível observar que obtiveram uma dissimilaridade bastante significativa dos demais grupos, podendo ser observado de acordo com a distância euclidiana, que foi bastante considerável.

O grupo III, formado pelos lotes MN, 1 e 2, são as áreas que possuem uma maior semelhança no dendrograma, por possuírem a menor distância euclidiana, se comparado com as demais áreas. Se analisados os lotes dentro desse mesmo grupo o lote MN, com exceção do mês de maio, foi a área que apresentou a menor distância euclidiana, ou seja, uma maior semelhança, bem como apresentou uma homogeneidade altamente significativa, o que denota, que os dados variaram pouco com o tempo e entre as camadas do solo.

No que se refere ao grupo IV, formado pelos lotes 2 (na profundidade 0-20 cm, para coleta no mês de maio, e profundidade 20-40, para a coleta no mês de setembro), 3 (profundidade de 20-40 cm, para a coleta no mês de setembro) e 4 (ambas as profundidades, para o a coleta no mês de maio), os mesmos podem ter se agrupado devido a semelhanças nos parâmetros de CTC, Mg²⁺ e K⁺ e PST.

O grupo V, formado pelos lotes 1 (ambas profundidades para o mês de setembro e maio), 3 (com exceção da profundidade 20-40 cm, para o mês de setembro) e MN (ambas profundidades para o mês de maio), podem ser consideradas as áreas que apresentaram as menores concentrações de sais, ou seja, apresentam baixo risco de desenvolvimento de problemas com a salinização, em comparação com os demais lotes analisados. As áreas que compõem este grupo podem ser consideradas relativamente semelhantes entre si, fato que pode ser observado pela distância euclidiana, onde esta não foi tão significativa.

Levando-se em consideração os grupos formados na Figura 20, é possível observar que os grupos são distintos para cada época em que foram coletados, ou seja, existe uma homogeneidade dentro dos grupos e uma heterogeneidade entre estes, significando que os mesmos estão agrupados por características em comum.

Na Tabela 12, estão apresentados fatores para as variáveis estudadas, sendo que a proporção acumulada foi do Fator 1 ao Fator 3, que explicou, aproximadamente, 80% da variabilidade total dos resultados obtidos. É importante citar que, a formação desses fatores foi possível, devido a variável autovalor, esta quando apresenta valores acima de 1,0 passa-se a considera-la, permitindo, portanto, para este trabalho, a formação de três fatores.

O Fator 1, permitiu estimar a influência das variáveis mais expressivas, com cargas fatoriais positivas nas diversas áreas estudadas, destacando-se: pH, Na⁺, Mg²⁺ e PST. Portanto estas variáveis foram as mais representativas, ou seja, as mais importantes, e que exerceram maior influência para a área de estudo. Este fator, foi, ainda, responsável pela explicação de, aproximadamente, 40,55% da variação total dos dados, sendo, portanto, o fator de maior importância, dentre os demais analisados. As variáveis do Fator 1, se mostraram bastante mutáveis, dentre os lotes estudados, isso pode, provavelmente, ter ocorrido devido a consequência dos fatores e processos pedogenéticos que são bastante influenciados pelo clima da região Semiárida do Nordeste do Brasil.

Tabela 12. Eixos fatoriais extraídos para atributos de solos e as respectivas cargas fatoriais, autovalores, variância total e acumulada.

Variáveis	Fator 1	Fator 2	Fator 3
CE _{es}	0,423931	0,745361	-0,065275
pH	-0,805646	0,055709	0,119315
P	0,002636	-0,104095	-0,805091
K ⁺	0,173046	-0,040558	-0,823370
Na ⁺	0,805952	0,555437	0,031746
Ca ²⁺	-0,273409	0,907972	0,236744
Mg ²⁺	0,762138	-0,107498	-0,317528
CTC	0,167645	0,936870	0,086200
PST	0,871262	0,316481	0,073080
Autovalores	3,649040	2,444248	1,066583
Variância Total	40,54489	27,15831	11,850093
(%)			
Variância Acumulada	40,5449	67,7032	79,5541
(%)			

Nota: pH – potencial hidrogeniônico; CE – condutividade elétrica; P – fósforo; K⁺ – potássio; Na⁺ – sódio; Ca²⁺ – cálcio; Mg²⁺ – magnésio; CTC – capacidade de troca catiônica potencial; PST – Porcentagem de sódio trocável.

Fonte: Acervo do Autor (2018).

Quanto ao Fator 2, as variáveis que mais se destacaram foram: CE_{es}, Ca²⁺ e CTC, apresentando cargas fatoriais positivas. Este fator, foi responsável pela explicação de, aproximadamente, 27,16% da variação total dos dados. A variação acumulada, para esse fator conjuntamente com o Fator 1, representa, cerca de 67,70%, ou seja, esses dois fatores, quando unidos, explicam cerca de 68% das causas de variação, sendo assim, os fatores de maior importância. Enquanto que, o Fator 3, foi o menos expressivo, onde o mesmo explicaria,

aproximadamente, apenas 11,85% dos dados, sendo as variáveis que mais se sobressaíram, para esse fator, foram o P e o K⁺.

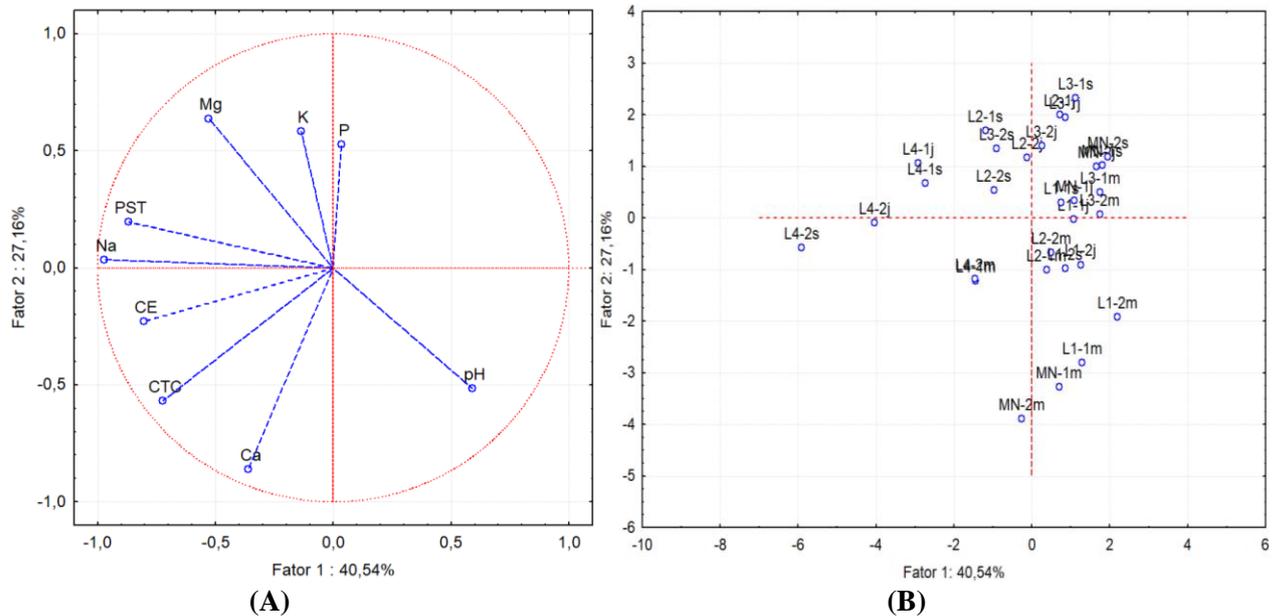
Outro aspecto importante a ser considerado, é a análise de componentes principais, que considera os indivíduos que estão sendo estudados por meio da representação gráfica da distribuição das variáveis, no círculo de correlação unitário (Figura 21A), como a distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre os fatores 1 e 2 dos lotes em estudo (Figura 21B).

Na Figura 21B, é possível observar que a maioria das variáveis se concentraram no sentido oposto em relação à maioria dos atributos químicos do solo (Figura 21A), indicando uma menor contribuição destes componentes principais, a aqueles que estão mais próximas. Em outras palavras, os gráficos refletem a inter-relação existente entre as variáveis e as características predominantes de cada área em estudo.

As variáveis CE, Na⁺ e PST, se correlacionaram positivamente com o Lote 4, o que indica que essas variáveis foram as que mais exerceram influência no lote supracitado. Na mesma figura, é possível observar que o Lote 4, na profundidade de 20-40 cm (2), para a coleta realizada no mês de setembro (s), foi altamente influenciada pelo Na⁺. Enquanto que, as variáveis Ca²⁺ e pH, se correlacionaram bem com a área sob Mata Nativa, principalmente em coletas para o mês de maio, visto que, devido as características do solo da região (calcário jandaíra), pode ter sofrido influência do material de origem. A maneira mais simples para se avaliar a salinidade dos solos tem por base o pH, a CE e a PST. Esse último parâmetro, indica o efeito do Na⁺, sobre as propriedades do solo, ao passo que, a CE indica o efeito da salinidade sobre as plantas (Ribeiro et al., 2010; Queiroz et al., 2010).

As demais áreas analisadas, em sua maior parte, estão opostas à direção da maioria dos elementos químicos, principalmente o Na⁺, PST, CE e CTC, o que indica que esses solos possuem baixa influência dos indicadores de salinidade do solo, sendo, portanto, as áreas menos susceptíveis a se salinizarem com o decorrer do tempo. Outro fato que pode ter contribuído para esse resultado é a altitude, visto que os lotes localizados em áreas mais altas, como o Lote 3, tendem a sofrer menos influência da salinização, por meio da elevação do lençol freático, por exemplo, ao contrário do Lote 4, que encontra-se na área mais baixa da microbacia.

Figura 21. Distribuição das variáveis, no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos representando a relação entre os fatores 1 e 2 (B).



Fonte: Acervo do Autor (2018).

Na Figura 22A e 22B, referente a análise de componentes principais (ACP), correlacionando-se os fatores 1 e 3, é possível perceber que o Lote 4, sofreu influência dos indicadores de salinidade do solo. O Lote 4, para a profundidade de 20-40 cm, para o mês de setembro, assim como na figura anterior, foi bastante influenciado, principalmente pelo Na^+ , diferindo-se das demais áreas, profundidades e períodos analisados. O Lote 4, ainda foi influenciado pelas variáveis como CE, CTC, Mg^{2+} e Ca^{2+} , indicando altas concentrações de sais. O pH, foi a principal variável que influenciou positivamente as áreas do estudo, correlacionando-se com a maior parte dos lotes analisados. Ao passo que, a maioria dos lotes estão opostas à direção da maioria dos elementos indicadores de salinização dos solos, estando assim, com baixos riscos de serem salinizados com o decorrer do tempo.

5 CONCLUSÕES

Ocorreu, ao longo do tempo, acúmulo de sais no solo em todos os lotes analisados.

A maior acumulação de sais nos solos, dos lotes estudados, ocorreu no período seco analisado (novembro), sendo a camada do solo de 0-20 cm a mais afetadas pelos sais.

Foi possível comprovar que o Lote 4, se trata de uma área que sofre com problemas de salinização, indicando a influência do lençol freático no processo de salinização do solo, sendo, portanto, necessária a adoção de práticas de manejo, como a lavagem do solo e sistema de drenagem, a fim de controlar o avanço da mesma. Os demais lotes estudados foram classificados como solos normais.

Os íons que contribuíram de forma mais significativa para a salinização do solo, da microbacia estudada, foram o Na^+ e o Mg^{2+} . Exerceram, também, forte influência os parâmetros pH e PST.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6502: Rochas e solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995. p. 18.
- Albuquerque, R. S.; Siqueira, D. S. V.; Brito, V. M. V.; Lima, A. S.; Beirigo, R. M. Risco de salinização de solos do perímetro irrigado de São Gonçalo – PB. I Simpósio de Manejo de Solo e Água. Convivência com o semiárido: uso sustentável da água e do solo. Mossoró/RN, 2016. p. 4.
- Almeida, O. A. Qualidade da água para irrigação [recurso eletrônico] / Otávio Álvares de Almeida. – Dados eletrônicos. – Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2010.
- ANA - Agência Nacional das Águas. A Evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2002. 68 p.
- ANA - Agência Nacional das Águas. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2014. Encarte especial sobre a crise hídrica. Brasília: ANA, 2015. 31 p.
- ANA - Agência Nacional de Águas (Brasil). Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2017. 86 p.
- Andrade, C. L. T. de. Seleção do Sistema de Irrigação. Circular técnica. Sete Lagoas, MG. Dezembro, 2001. 18 p.
- Andrade, E. M.; Meireles, A. C. M.; Alexandre, D. M. B.; Palácio, H. A. Q.; Lima, C. A. Investigação de mudanças do status salino do solo pelo emprego de análise multivariada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, p.410–415, 2011.
- Andrade Júnior, A. S.; Silva, E. F. F.; Bastos, E. A.; Melo, F. B.; Leal, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido piauiense. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, p.873-880, 2006.
- Araújo, S. M. S. de. A Região Semiárida do Nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. Rios Eletrônica - Revista Científica da FASETE, ano 5, n. 5 dez. 2011. 10 p.
- Ayers, R. S., Westcot, D. W. A qualidade da água na Agricultura. Campina Grande: UFPB. Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damasceno, F. A. 1999, 218 p. (Estudos da FAO Irrigação e Drenagem, 29 revisado).
- Ayers, R.S.; Westcot, D.W. Water quality for agriculture. Roma: FAO, 1985. 174 p. Irrigation and Drainage Paper, 29, Rev. 1.
- Barroso, A. A. F.; Gomes, G. E.; Lima, A. E. O.; Palácio, H. A.Q.; Lima, C. A. Avaliação da qualidade da água para irrigação na região Centro Sul no Estado do Ceará. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.6, p.588–593, 2011.

- Bicalho, I. M. Um Estudo da Densidade do Solo em Diferentes Sistemas de Uso e Manejo. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12; 2011. 9 p.
- Biscaro, G. A. Sistemas de irrigação por aspersão. / Guilherme Augusto Biscaro. – Dourados, MS: Editora da UFGD, 2009. 134p.
- Bohn, H. L.; MCNEAL, B. L.; O'Connor, G. A. Soil chemistry. 2ª ed. New York: John Wiley & Sons, 1985. 341 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental RIMA. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fev. 1986.
- Camargo, D. C. Manejo da Irrigação: como, quando e quanto irrigar? / Débora Costa Camargo. - Fortaleza: INOVAGRI/IFCE, 2016. 42p.
- Carvalho, M. A.; Ruiz, H. A.; Costa, L. M.; Passos, R. R.; Araujo, C. A. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.18, p.1010–1016, 2014. Campina Grande, PB. 7 p. ISSN 1807-1929.
- Cavalcante, L. F.; Santos, R. V.; Hernandez, F. F. F.; Gheyi, H. R.; Dias, T. J.; Nunes, J. C.; LIMA, G. S. Recuperação de solos afetados por sais. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados / 2.ed. Editores: Hans Raj Gheyi, Nildo da Silva Dias, Claudivan Feitosa de Lacerda, Enéas Gomes Filho. Fortaleza, INCTSal, 2016. 504p. il.; 28 cm.
- Coelho, E. F. Manejo, eficiência e uso da água em sistemas de irrigação / Eugênio Ferreira Coelho, Alisson Jadavi Pereira da Silva - Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2013.
- Coelho, E. F.; Silva, A. J. P.; Parizotto, I.; Silva, T. S. M. Sistemas e manejo de irrigação de baixo custo para agricultura familiar / Eugenio Ferreira Coelho... [et al.]-. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2014.
- Cordani, U. G.; Taioli, F. A Terra, a Humanidade e o Desenvolvimento Sustentável. In: TEIXEIRA, Wilson; et. al. Decifrando a Terra. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2008.
- Cordeiro, G. G. Qualidade de água para fins de irrigação (Conceitos básicos e práticas) / Gilberto Gomes Cordeiro. Petrolina, PE: Embrapa SemiÁrido, 2001. 32 p.
- De Deus, R.; Bakonyi, S. M. C. O impacto da agricultura sobre o meio ambiente. REGET: Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, v. 7, p. 1306-1315. 2012.
- Dias, N. S.; Blanco, F. F.; Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicado/ Editores: Hans Raj Gheyi, Nildo da Silva Dias, Claudivan Feitosa de Lacerda. Cap.9 - Efeitos dos sais no solo e na planta. Fortaleza, INCT Sal, 2010. 472p.
- DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Perímetro Irrigado Baixo-Açu. Acesso em 05 de set. 2018. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/doc/canais/perimetros_irrigados/rn/baixo_acu.htm>.

- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sigatokas. 2019. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/arvore/AG01_45_41020068055.html>. Acesso em: 10 de jan de 2019.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistemas diferenciados de cultivo. 2018. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao-caupi/arvore/CONTAG01_17_510200683536.html>. Acesso em: 13 de abril de 2018.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Solo e água. 2018. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/uva_para_processamento/arvore/CON T000g5f8cou902wx5ok0bb4szwxd0uzh8.html>. Acesso em: 16 de nov de 2018.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Recursos Hídricos no Semi-Árido. 2018. Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/princip/rechidro.html>>. Acesso em: 13 de abril de 2018.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Water in agriculture: opportunity untapped. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2006.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crops & livestock primary & processed. 2005.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Information System on Water and Agriculture – AQUASTAT. Disponível em: <<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>>. Acesso em: 20 abr. 2018.
- Ferreira, P. A.; Silva, J. B. L.; Ruiz, H. A. Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados / 2.ed. Editores: Hans Raj Gheyi, Nildo da Silva Dias, Claudivan Feitosa de Lacerda, Enéas Gomes Filho. Fortaleza, INCTSal, 2016. 504p.
- Ferreira, V. M. Irrigação e drenagem/Valber Mendes Ferreira. – Floriano, PI: EDUFPI, 2011. 126 p.
- Franco, R. A. M.; Hernandez, F. B. T. Qualidade da água para irrigação na microbacia do Coqueiro, Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.13, p.772–780, 2009.
- Garjulli, R. Os recursos hídricos no semi-árido. Ciência e Cultura. [online]. 2003, vol.55, n.4, pp.38-39. ISSN 2317-6660.
- Gheyi, H.R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: Oliveira et al. (Orgs.). Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido. Fortaleza: UFS/SBCS, 2000. p.123-145.
- Google Imagem. Disponível em: <<https://www.google.com.br/imgph?hl=pt-BR&tab=wi>>. Acesso em: 27 abril 2018.

- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E.; Tatham, R. L. Análise multivariada de dados. Bookman Editora, 2009.
- Hanson, B. R.; Grattan, S. R.; Fulton, Allan. Agricultural salinity and drainage. University of California, Davis. 2006.
- Hermes, L.C.; Silva, A.S. Parâmetros básicos para avaliação da qualidade das águas: análise e seu significado ambiental. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2002. 32p.
- Hespanhol A. N. Constituição e Reestruturação Produtiva da Fruticultura Irrigada no Baixo-Açu e no Vale do Apodi-Mossoró-RN – Brasil. Edição Especial - Revista Formação, volume 1, 2016, p. 62 – 91.
- Holanda, J. S.; Amorim, J. R. A. Qualidade da água para irrigação. EMPARN/EMBRAPA, Natal, RN. 1992.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>>. Acesso em: 13 de abril de 2018.
- Jacobi, P. R.; Grandisoli, E. Água e sustentabilidade: desafios, perspectivas e soluções. 1. ed. São Paulo: IEE-USP e Reconnectta, 2017. 110p.
- Kiehl, E. J. Manual de Edafologia: relação solo-planta. Piracicaba: Ceres, 1979. 262p.
- Lima, C. G. R.; Carvalho, M. P.; Mello, L. M. M.; Lima, R. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 1233-1244, 2007.
- Lima, V. L. A.; Farias, M. S. S.; Borges Júnior, J. C. F. Drenagem agrícola no manejo dos solos afetados por sais. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados / 2.ed. Editores: Hans Raj Gheyi, Nildo da Silva Dias, Claudivan Feitosa de Lacerda, Enéas Gomes Filho. Fortaleza, INCTSal, 2016. 504p.
- Malvezzi, R. Semi-árido - uma visão holística. – Brasília: Confea, 2007. 140p. – (Pensar Brasil).
- Mantovani, E. C.; Bernardo, S.; Palartti, L. F. Irrigação: princípios e métodos. Viçosa: UFV, 2006. 328 p.
- Massoud, F. I. A note on the need for accented definitions and method of characterization of salts affected soils. In: Reunion da la Subcomicion de Suelos Salinos. Sevilla: Iryda, 1971.
- Medeiros, P. R. F. de; Silva, E. F. de F.; Duarte, S. N. Salinidade em ambiente protegido. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados / 2.ed. Editores: Hans Raj Gheyi, Nildo da Silva Dias, Claudivan Feitosa de Lacerda, Enéas Gomes Filho. Fortaleza, INCTSal, 2016. 504p.
- Melo, A. F. D.; Souza, C. M. M., Rego, L. G. S.; Lima, R. N. S.; Moura, I. N. B. M. Pedogênese de Chernossolos derivados de diferentes materiais de origem no Rio Grande do Norte, Brasil. Agropecuária Científica no Semiárido, v.13, n.3, p.229-235, 2017.

- Nakayama, F. S. Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. In: Pro. Irrigation Association Conference, Portland, Oregon. 1982.
- Nóbrega, J. C. A. 1; Silva, F. T. S.; Dias, F. P. M.; Souza, V. M.; Silveira Junior, M. C. Densidade de Partícula, Densidade do Solo e Volume Total de Poros em Solo do Agreste Baiano sob Diferentes Usos em Sistemas Orgânicos. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: o solo e suas múltiplas funções. Natal/RN, 2015. 4 p.
- Oliveira, L. B.; Ribeiro, M. R.; Ferreira, M. G. V. X.; Lima, J. F. W. F.; Marques, F. A. Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 37, p. 1477-1486, 2002.
- Oliveira, M.; Maia, C. E. Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.2, p.17-21, 1998.
- Olivo, A. M.; Ishiki, H. M. Brasil frente à escassez de água. Colloquium Humanarum, v. 11, p.41-48, 2014.
- Primo, A. A.; Melo, M. D.; Pereira, G. A. C.; Silva, L. A.; Fernandes, F. É. P.; Souza, H. A. Potencial fertilizante da serapilheira de espécies lenhosas da Caatinga na recuperação de um solo degradado. Revista Ceres, vol. 65, 2018, p. 74-84.
- Queiroz, J. E.; Gonçalves, A. C. A.; Souto, J. S.; Folegatti, M. V. Avaliação e Monitoramento da Salinidade do Solo. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. Das; Acerda, C. F. De. (Ed.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2010. p. 63-81. 472 p.
- Reinert, D. J.; Reichert, J. M. Propriedade física do solo. Santa Maria – RS, 2006. 18 p.
- Resende, R. S.; Amorim, J. R. A.; Cruz, M. A. S. ; Menezes, T. N. Distribuição espacial e lixiviação natural de sais em solos do Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.18, (Suplemento), p.S46–S52, 2014.
- Resende, T. M.; Moraes, E. R.; Franco, F. O.; Arruda, E. M.; Araújo, J. R.; Santos D. S.; Borges, E. N.; Ribeiro B. T. Avaliação Física do Solo em Áreas sob Diferentes Usos com Adição de Dejetos Animais no Bioma Cerrado. Bioscience journal, Uberlândia, v. 28, Supplement 1, p. 179-184. 2012.
- Ribeiro, M. R. Origem e Classificação dos Solos Afetados por Sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. S.; Lacerda, C. F. (Eds.). Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados. Fortaleza, 2010. INCTSal. p.11-19.
- Ribeiro, K. D.; Menezes, S. M.; Mesquita, M. G. B. F.; Sampaio, F. M. T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. Ciência e agrotecnologia, Lavras, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, jul./ago., 2007.
- Ribeiro, M. R.; Ribeiro Filho, M. R.; Jacomine, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados / 2.ed. Editores: Hans Raj Gheyi, Nildo da Silva Dias, Claudivan Feitosa de Lacerda, Enéas Gomes Filho. Fortaleza, INCTSal, 2016. 504p.

- Ribeiro Filho, J. C.; Palácio, H. A. de Q.; Andrade, E. M. de; Santos, J. C. N. dos; Brasil, J. B. Rainfall characterization and sedimentological responses of watersheds with different land uses to precipitation in the semiarid region of Brazil. *Revista Caatinga*, v.30, p.468-478, 2017.
- Richards, L.A. (ed.). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington D.C.: U.S. Salinity Laboratory, 1954. 160p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).
- Rodrigues, G. S.; Irias, L. J. M. Circular técnica: Considerações sobre os Impactos Ambientais da Agricultura Irrigada. Jaguariúna/SP, 2004. 7 p.
- Roy, S. J.; Negão, S.; Tester, M. Salt resistant crop plant. *Current Opinion in Biotechnology*, v.26, p.115–124, 2014.
- Sá, M.V.C. *Limnocultura/limnologia para aquicultura*. Fortaleza: Edições UFC, 2012. 218p.
- Santana, J. S.; Lima, E. F.; Komatsu, R. S.; Silva, W. A.; Ribeiro, M. I. D. Caracterização física e química de solo em sistemas de manejo Plantio direto e convencional. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.15, p. 21. 2018.
- Santos, H. G. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos / Humberto Gonçalves dos Santos ... [et al.]*. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF : Embrapa, 2018.
- Santos, J. P.; Azevedo, S. G.; Mistretta, G. Novos aspectos da salinização das águas subterrâneas do cristalino do Rio Grande do Norte. IN: *Comunicação Técnica 314*. São Paulo: IPT, 1984. 27 p.
- Santos, R. V.; Cavalcante, L. F.; Vital, A. F. M.; Lacerda, C. F.; Souza, E. R.; Lima, G. S. Interação salinidade-fertilidade do solo. *Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados / 2.ed.* Editores: Hans Raj Gheyi, Nildo da Silva Dias, Claudivan Feitosa de Lacerda, Enéas Gomes Filho. Fortaleza, INCTSal, 2016. 504p.
- Silva, A. F. Agricultura no nordeste semiárido e os Resíduos orgânicos aproveitáveis. *Revista Equador (UFPI)*, Vol.5, p. 102 - 119 (Janeiro/Junho, 2016).
- Silva, W. P.; Almeida, C. D. G. C.; Rolim, M. M.; Silva, Ê. F. de F.; Pedrosa, E. M. R.; SILVA, V.G.F. Monitoramento da salinidade de águas subterrâneas em várzea cultivada com cana-de-açúcar fertirrigada com vinhaça. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.394–401, 2014.
- Silveira, J. A. G.; Silva, S. L. F.; Silva, E. N.; Viégas, R. A. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. *Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados / 2.ed.* Editores: Hans Raj Gheyi, Nildo da Silva Dias, Claudivan Feitosa de Lacerda, Enéas Gomes Filho. Fortaleza, INCTSal, 2016. 504p.
- Silveira, P. M.; Cunha, P. C. R.; Stone, L. F.; Santos, G. G. Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia-GO, v. 40, n. 3, p. 283-290, 2010.
- Smedema, L. K.; Shitati, K. Irrigation and salinity: A perspective review of the salinity hazards of irrigation development in the arid zone. *Irrigation and Drainage Systems*, v.16, p.161–174, 2002.

STATSOFT. Statistica Version 7.0. StatSoft. Retrieved from <http://www.statsoft.com> 2004.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. Delimitação do Semiárido. Disponível em: <<http://sudene.gov.br/images/arquivos/semiario/arquivos/mapa-semiarido-1262municipios-Sudene.pdf>>. Acesso em 23 de jan. 2019.

Testezlaf, Roberto Irrigação: métodos, sistemas e aplicações. -- Campinas, SP.: Unicamp/FEAGRI, 2017. 215p.

Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Wenceslau, A. F.; Teixeira G. Manual de Métodos de Análise de Solo. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2017, 573 p.

Thebaldi, M. S.; D Sandri, E.; Felisberto, A. B.; Rocha, M. S.; Avelino Neto, S. Qualidade da água para irrigação de um córrego após receber efluente tratado de abate bovino. Engenharia agrícola, Jaboticabal, v.33, p.109-120. 2013.

Zonta, J. H.; Bezerra, J. R. C.; Pereira, J. R.; Sofiatti, V. Manejo da Irrigação do Algodoeiro. Circular técnica. Campina Grande, PB. 2016.