



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE QUÍMICA BACHARELADO

RAUL SANTOS ROCHA DE ARAÚJO

**MONITORAMENTO DA SALINIDADE DE UM LATOSSOLO CULTIVADO COM
MARACUJAZEIRO IRRIGADO COM ÁGUASALINA**

AREIA
2021

RAUL SANTOS ROCHA DE ARAÚJO

**MONITORAMENTO DA SALINIDADE DE UM LATOSSOLO CULTIVADO COM
MARACUJAZEIRO IRRIGADO COM ÁGUA SALINA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Química da Universidade Federal da
Paraíba como requisito parcial para a
obtenção do título de Bacharel em Química.

Orientador: Prof. Alexandre Paiva da Silva

**AREIA
2021**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A663m Araújo, Raul Santos Rocha de.

Monitoramento da salinidade de um Latossolo cultivado
com maracujazeiro irrigado com água salina / Raul
Santos Rocha de Araújo. - Areia:UFPB/CCA, 2021.

34 f. : il.

Orientação: Alexandre Paiva da Silva.

TCC (Graduação) - UFPB/CCA.

1. Química. 2. Salinidade. 3. Sodicidade. 4. Irrigação.
I. Silva, Alexandre Paiva da. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 54(02)

RAUL SANTOS ROCHA DE ARAÚJO

MONITORAMENTO DA SALINIDADE DE UM LATOSSOLO CULTIVADO
COM MARACUJAZEIRO IRRIGADO COM ÁGUA SALINA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Química da Universidade Federal da
Paraíba como requisito parcial à
obtenção do título bacharel em Química.

Aprovado em: 19/07/2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Alexandre Paiva da Silva (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Profa. Dra. Maria Betania Hermenegildo dos Santos (Examinadora)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)



Dr. João Batista Belarmino Rodrigues (Examinador)
Instituto Desenvolver

À
Deus,
minha
família,
a está
Instituição, a
todos que de
alguma forma
contribuíram
com a minha
formação.
E a minha Vó Lili!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Nós fazemos os planos, mas estes só se concretizam com a permissão de Deus; portanto, só tenho que agradecer ao Maestro celestial por permitir a realização de um sonho de concluir a graduação que sempre almejei numa universidade pública;

Registro aqui a minha eterna gratidão ao meu paraquedas ruim (está comigo e não abre), Senhor Whélynton Francisco Rocha de Araújo. Pai, obrigado por confiar em mim e me dar a oportunidade de sair aos 14 anos da nossa nobre Santa Luzia do Paruá-MA e para mesmo com poucas oportunidades, fazer o curso técnico no IFMA e em seguida desbravar a até então desconhecida cidade de Areia, no interior da Paraíba. Muito obrigado Pai.

Muita gratidão, a minha Rainha, Senhora Suely Costas dos Santos. Mãe, só Deus sabe o tempo que a Senhora ficou de joelhos orando por mim, pedindo para que esse momento chegasse, e chegou Mãe. Deus me deu vários livramentos, além de muitas oportunidades, e tenho certeza que suas orações poderosas, com toda fé que a Senhora tem no bem-estar de seus filhos, influenciou de alguma forma às bênçãos alcançadas.

Ao Senhor Menininho, proprietário do Sítio Bujari, pela oportunidade e confiança.

Ao IFMA, Campus de Zé Doca, e a todos os professores do período 2011-2013 desta Instituição, principalmente o professor e amigo Sebastião Cidreira.

Ao CCA –UFPB e a todos os professores e professoras que fizeram parte da minha formação; tenho muita admiração pelos profissionais que são, e um dia quero ser igual a vocês. Muito obrigado a todos!

Ao meu orientador, professor e amigo Prof Alexandre Paiva, pelo conhecimento acadêmico, paciência, oportunidade e confiança.

A minha eterna gratidão a todos os familiares: avós, tios e tias, primos e primas, e ao meu irmão Rafael, por sempre acreditarem que esse momento chegaria.

Nesta reta final, eu e minha futura esposa Luiza fomos presenteados por Deus com nosso Lion e estes dois juntos com o meu primogênito Isaac, foram essenciais para a conclusão deste curso. Muito obrigado Luiza pelo companheirismo e por estar ao meu lado, me aconselhando em diversas situações, tanto cientificamente quanto pessoalmente.

Isaac e Lion quando lerem futuramente este documento saibam que agradeço muito a vocês, e que cada noite mal dormida estudando feito um “condenado” foi para dar um futuro confortável e cheio de oportunidades, assim como seus avós me proporcionaram.

“É necessário sempre acreditar que o sonho é possível, que o céu é o limite e você, truta, é imbatível, que o tempo ruim vai passar, é só uma fase, que o sofrimento alimenta mais a sua coragem, que a sua família precisa de você, lado a lado se ganhar para te apoiar se perder, falo do amor entre homem, filho e mulher, a única verdade universal que mantém a fê”

Edi Rock

RESUMO

A salinização do solo pode ocorrer de forma natural e, ou, antrópica, sendo a irrigação uma das principais práticas agrícolas responsáveis pela elevação dos níveis de salinidade do solo em regiões semiáridas. Logo, a avaliação espaço-temporal dos níveis de salinidade do solo nestas regiões torna-se imprescindível para o manejo agrícola sustentável. Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar a evolução da salinidade e da sodicidade de um Latossolo Amarelo, sob cultivo de maracujazeiro-amarelo irrigado com água salina de poço artesiano, no município de Cuité, Estado da Paraíba. Para isso avaliaram-se os atributos e os riscos de salinidade e sodicidade da água de irrigação e do solo nas profundidades de 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m. Mensalmente e durante seis meses (setembro de 2020 a fevereiro de 2021) foram determinadas nas amostras de água e solo coletadas as seguintes variáveis: pH, condutividade elétrica (CE), relação de adsorção de sódio (RAS), percentagem de saturação de sódio (PST), teores de cátions (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+}), ânions (SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^- e HCO_3^-) e sais dissolvidos totais (SDT) (apenas para água de irrigação). Pelos resultados verificou-se pequena variação na composição química da água durante o período de avaliação, a qual exibiu pH ácido ($< 5,0$), ausência de carbonatos e bicarbonatos, alto risco de salinidade (C_3), risco muito alto de sodicidade (S_4) e toxicidade severa de Cl^- e Na^+ . No solo, constataram-se maiores acúmulos de Na^+ e Cl^- , principalmente nas camadas superficiais e nos meses de menor precipitação (setembro a dezembro), situações nas quais o solo foi classificado como salino, prevalecendo o caráter não salino no restante do período. Concluiu-se que a sustentabilidade da produção agrícola nos referidos solos passa pelo manejo racional dos fatores solo, água e planta.

Palavras-chave: salinidade; sodicidade; irrigação.

ABSTRACT

Soil salinization can occur naturally and/or anthropically, with irrigation being one of the main agricultural practices due to the increase in soil salinity levels in semiarid regions. Therefore, the spatio-temporal assessment of soil salinity levels becomes essential for sustainable agricultural management. The objective of this study was to evaluate the evolution of salinity and sodicity of an Oxisol under yellow passionfruit cultivation irrigated with saline water, in the municipality of Cuité, State of Paraíba. For this, the attributes and risks of salinity and sodicity of irrigation water and soil were evaluated at depths of 0-0.20; 0.20-0.40 and 0.40-0.60 m. Monthly and for six months (september 2020 to february 2021) the following variables were determined in the water and soil collected: pH, electrical conductivity (EC), sodium adsorption ratio (SAR), percentage of sodium saturation (PSS), cation contents (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} and Ca^{2+}), anions (SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^- and HCO_3^-) and total dissolved salts (TDS) (only for irrigation water). The results showed small variation in the chemical composition of water during the evaluation period, which exhibited acidic pH (<5.0), absence of carbonates and bicarbonates, high risk of salinity (C_3), very high risk of sodicity (S_4) and severe Cl^- and Na^+ toxicity. In the soil, greater accumulations of Na^+ and Cl^- were found, mainly in the superficial layers and in the months of less precipitation (september to december); in this situations the soil was classified as saline, prevailing the non-saline character in the remaining period. It was concluded that the sustainability of agricultural production of these soils involves the rational management of soil, water and plant factors.

Keywords: salinity; sodicity; irrigation.

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Classes, intervalos e riscos de salinidade e sodicidade para água de irrigação sugeridos por Richards(1954).....	23
Tabela 2 - Classificação de solos afetados por sais, conforme Massoud (1971).....	23
Tabela 3 - Valores de pH, condutividade elétrica (CE _a) e relação de adsorção de sódio (RAS) das amostras de água de irrigação coletadas no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021.....	24
Tabela 4 - Teores individuais e somatório dos cátions Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ e Mg ²⁺ nas amostras de água coletadas no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021.....	26
Tabela 5 - Teores individuais e somatório dos ânions SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ nas amostras de água coletadas no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021.....	27
Tabela 6 - Valores de pH, condutividade elétrica (CE _{es}) e relação de adsorção de sódio (RAS) das amostras de solo coletadas, profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm, no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021.....	28
Tabela 7 - Teores dos cátions Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ e somatório de cátions nas amostras de solo coletadas, nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm, no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021.....	30
Tabela 8 - Teores dos ânions SO ₄ ²⁻ , Cl ⁻ , CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ e somatório de ânions nas amostras de solo coletadas, nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm, no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021.....	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	12
2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA, SOCIAL E AMBIENTAL DA SALINIDADE	12
2.2 A ÁGUA DE IRRIGAÇÃO COMO FONTE DE SAIS	13
2.3 EFEITOS DOS SAIS NO SOLO	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 LOCAL, CLIMA E SOLO	16
3.2 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO CULTIVO.....	18
3.3 AMOSTRAGENS DE ÁGUA E SOLO.....	18
3.4 VARIÁVEIS AVALIADAS	19
3.5 CLASSIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 ANÁLISES DE ÁGUA	22
4.2 ANÁLISES DE SOLO	25
5 CONCLUSÕES	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

Os problemas da salinização dos solos são conhecidos pelo homem há pelo menos dois milênios, quando os sais foram usados como instrumento de guerra pelos Romanos, os quais após a vitória sobre os Cartagineses, incorporaram cloreto de sódio nos solos dos arredores da cidade de Cartago, com o intuito de torná-los improdutivos e impedir o ressurgimento da cidade por eles destruída (RIBEIRO *et al.*, 2016).

A salinização do solo pode ocorrer de forma natural (inundações, drenagem natural deficiente, evaporação de águas salinas subterrâneas) e, ou, ser provocada por ações antrópicas, sendo a adubação e a irrigação, práticas agrícolas responsáveis pela elevação dos níveis de salinidade no solo, sobretudo nas regiões áridas e semiáridas (FERREIRA *et al.*, 2016). Nestas regiões, fatores como elevada evapotranspiração, reduzido índice pluviométrico, uso inadequado da drenagem e utilização de água e do solo com teores elevados de sais favorecem o processo de ascensão capilar dos sais para as camadas superficiais, potencializando os efeitos negativos sobre solos e plantas (SILVA *et al.*, 2009).

O uso de irrigação consiste numa prática indispensável para aumentar a produtividade e assegurar a sustentabilidade das atividades agrícolas, sobretudo nas regiões áridas e semiáridas, embora possa resultar em acúmulo do teor de sais na zona radicular do solo. O excesso de sais no solo reduz a disponibilidade de água para as plantas, além de trazer problemas, como desequilíbrio nutricional e toxicidade de íons específicos, os quais podem afetar negativamente os rendimentos e a qualidade da produção (PORTO FILHO *et al.*, 2011).

A prática de irrigação deve ser usada de forma racional uma vez que as condições de clima do Nordeste (altas temperaturas e baixa pluviosidade) e os elevados teores de sais nas águas de irrigação têm causado problemas de salinidade nos solos (MEDEIROS *et al.*, 2003). De acordo com Rhoades (1994), o nível de salinidade dos solos deve ser sempre inferior ao nível nocivo às plantas cultivadas; assim, o monitoramento direto da salinidade na zona radicular é recomendado para assegurar a eficiência do manejo das áreas irrigadas, sobretudo nas regiões semiáridas, em áreas de terras marginais e com o uso de águas de baixa qualidade (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Na Serra do Cuité, a água utilizada para irrigação do maracujazeiro (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg) provém, em sua maioria, de poços artesianos perfurados no domínio do sistema aquífero Serra do Martins. Além da baixa produtividade hidráulica, esta fonte de água tem o inconveniente de apresentar níveis elevados de sais, os quais podem aumentar os teores

de sódio no solo, e gradualmente a porcentagem de sódio trocável (PST), a razão de adsorção de sódio (RAS) e a condutividade elétrica do solo (CE_{es}), e afetar negativamente o rendimento de culturas mais sensíveis, além de potencializar os riscos de salinização dos solos (CPRM, 2005).

A escassez de água de boa qualidade para irrigação e a irregularidade pluviométrica nas áreas semiáridas produtoras de maracujazeiro dificultam a utilização de fertilizantes sintéticos pelos agricultores. Além disso, o emprego de tais insumos em cultivos irrigados com água salina, que são frequentes nessa região, requer atenção especial devido aos altos índices salinos apresentados, principalmente pelos adubos nitrogenados e potássicos, que podem potencializar o efeito negativo da salinidade da água sobre a cultura.

Apesar dos registros de que o maracujazeiro se desenvolve adequadamente em ambientes moderadamente salinos (CAVALCANTE *et al.*, 2005), ainda são escassas as informações sobre a dinâmica dos sais na solução de solos cultivados com maracujazeiro irrigado com água salina nas regiões semiáridas.

Assim, torna-se essencial o estudo e monitoramento da salinidade da água e do solo, visando subsidiar o estabelecimento de práticas de manejo voltadas para solucionar os problemas de salinização e sodificação, assegurar a sustentabilidade da produção e melhorar a qualidade dos recursos naturais.

Pelo exposto, o presente trabalho teve os seguintes objetivos:

- Geral

- Avaliar a evolução da salinidade e da sodicidade de um Latossolo Amarelo, cultivado com maracujazeiro-amarelo e irrigado com água salina.

- Específicos

- Monitorar os atributos e os riscos de salinidade e sodicidade da água de irrigação durante o período de setembro de 2020 a fevereiro de 2021;

- Determinar as quantidades de cátions (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+}), ânions (SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- e Cl^-) e de sais dissolvidos totais (SDT) adicionadas ao solo pela água de irrigação no referido período de avaliação;

- Avaliar o grau de salinidade e, ou, de sodicidade do solo nas profundidades de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m durante o período de avaliação

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA, SOCIAL E AMBIENTAL DA SALINIDADE

A salinização do solo é um problema que vem crescendo em todo o mundo. Estima-se existir cerca de 1 a 5 bilhões de hectares de solos afetados por sais, com grande parte de todas as áreas irrigadas do mundo sofrendo com a redução da produção devido ao excesso de sais no solo (RIBEIRO; FREIRE; MONTENEGRO, 2003).

Solos afetados por sais são principalmente encontrados em climas áridos e semiáridos, em mais de 100 países em todos os continentes, com exceção da Antártida. Estima-se que aproximadamente 7,0% de toda superfície terrestre apresenta-se salinizada, devido a processos naturais intrínsecos ao próprio solo da região de ocorrência ou causadas por atividades antrópicas, com uma superfície de 9.500.000 km², distribuídos na Austrália, Ásia, América do Sul e África (BELTRÁN, 2016).

Mundialmente, dos cerca de 933 milhões de ha salinizados, 38% estão localizados na Austrália, que possui 357 milhões de ha salinizados, sendo 95,1 % destes sódicos e 4,9 % salinos. A América é o terceiro continente no ranking das áreas afetadas por sais, apresentando 147 milhões de ha salinizados, dos quais 77,6 milhões são salinos e 69,3 milhões são sódicos. A área salinizada por ação antrópica é estimada em 76,6 milhões de ha, onde a América do Sul possui 2,7 % do total com 2,1 milhões de ha (SHAHID *et al.*, 2018).

No Brasil, solos salinos e sódicos ocorrem no Rio Grande do Sul, na região do Pantanal Mato-grossense e, com predomínio na região semiárida do Nordeste, onde a área afetada por excesso de sais corresponde a 91.000 km² ou 56,9 % da área total do território nacional (RIBEIRO; FREIRE; MONTENEGRO, 2003). Segundo Gheyi (2000), o problema da salinização do solo é verificado em todo país, acontecendo especialmente na região Nordeste, onde aproximadamente 25% das áreas irrigadas encontram-se salinizadas.

Além de se caracterizar como um grave problema ambiental, a elevada concentração de sais no solo causa perdas consideráveis para agricultura mundial, por causar perdas em cultivos já estabelecidos ou por inviabilizar a exploração de novas áreas agricultáveis. Além disso, a acumulação de sais no solo leva à degradação e desertificação, causando uma série de problemas políticos, sociais e econômicos (PEDROTTI *et al.*, 2015).

Estudos realizados com as culturas do milho, sorgo, algodão e trigo nos distritos de Rio Fuerte e Sinaloa, no México, revelaram que a salinidade da água irrigação provocou redução de 12,7 % na produtividade das culturas, totalizando em prejuízos da ordem de US\$ 141 milhões de dólares mexicanos (BELTRÁN, 2016).

Os efeitos da salinidade e sodicidade nos solos podem afetar adversamente também o balanço ecológico de uma área. Entre os impactos negativos causados pelos sais no ambiente pode-se citar: baixa produtividade agrícola e altos custos de produção; aumento do escoamento superficial e das enchentes; pequena recarga dos aquíferos; desbalanço ecológico; piora nos índices de saúde pública; dentre outros (RIBEIRO; BARROS; FREIRE, 2009).

2.2 A ÁGUA DE IRRIGAÇÃO COMO FONTE DE SAIS

Aproximadamente 40% das terras irrigadas do mundo estão localizadas em regiões áridas e semiáridas. Nessas regiões, a salinidade antrópica é comum devido aos sais adicionados via água de irrigação e ao acúmulo de água subterrânea salina em áreas sem drenagem natural. Nestas áreas, os sais se concentram na superfície do solo devido ao movimento capilar das águas subterrâneas salinas tornando-se salino naturalmente (FAO, 2015).

A qualidade da água para fins de irrigação é determinada pelo seu conteúdo total de sais e sua composição iônica. Sendo assim, as águas que se destinam a irrigação devem ser avaliadas, principalmente, sobre três aspectos: risco de salinidade, risco de sodicidade e risco de toxicidade de íons específicos (PEDROTTI *et al.*, 2015).

O efeito da salinidade é de natureza osmótica e reduz a absorção de água pelas plantas, afetando diretamente o rendimento das culturas. A sodicidade se refere ao efeito relativo do sódio da água de irrigação tendendo a elevar a porcentagem de sódio trocável no solo (PST), com danos nas suas propriedades físico químicas, provocando problemas de infiltração. A toxicidade, diz respeito aos efeitos de toxidez pelo excesso de Cl, Na e B sobre as plantas, afetando o rendimento, independente do efeito osmótico (HOLANDA *et al.*, 2016).

Richards (1954) agrupou as águas em quatro classes de salinidade, cujos limites foram estabelecidos conforme as concentrações de sais solúveis presentes nas águas, determinadas pela condutividade elétrica representadas com as simbologias C1, C2, C3, e C4, que possuem respectivamente valores de CE (dS m^{-1}) $< 0,25$, no intervalo de 0,25 a 0,75, de 0,75 a 2,25 e $> 2,25$. Já em a relação sodicidade, a água de irrigação também é dividida em quatro grupos denominados de S1, S2, S3 e S4, definidas a partir dos valores de razão de adsorção de sódio (RAS).

No semiárido do Nordeste do Brasil, existem consideráveis variações na qualidade de águas para irrigação durante o ano, principalmente naquelas oriundas de poços amazonas e naturais. Assim, considerando como de boa qualidade as que apresentam níveis de salinidade

entre baixo e médio, foram observados os seguintes percentuais para as fontes incluídas nessa categoria: 74,3% na microrregião homogênea de Catolé do Rocha na Paraíba; 64% no sertão de Pernambuco; 71,9 a 75% no Seridó e Zona Oeste do Rio Grande do Norte; 75% nas pequenas propriedades irrigadas do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba (HOLANDA *et al.*, 2016).

Macedo *et al.* (1998), monitorando os sais na água e no solo irrigado do projeto Vereda Grande, no município de Boqueirão, PB, verificou que a água apresentava risco de salinização crescente ao longo do tempo, com elevados níveis de sódio e cloreto - 8,6 e 10,5 mmolc L⁻¹, respectivamente; ademais, a presença significativa de bicarbonato (1 a 3,2 mmolc L⁻¹) na água restringe a prática da irrigação por aspersão devido, principalmente, às condições de alta evaporação, aridez do local e toxidez específica do sódio e cloreto em plantas sensíveis.

No tocante a águas subterrâneas, Medeiros *et al.* (2003) afirmam que as da zona produtora de melão da chapada do Apodi, estados do Ceará e Rio Grande do Norte, apresentam níveis elevados de salinidade, altas concentrações de cloreto, baixa sodicidade e elevada alcalinidade.

2.3 EFEITOS DOS SAIS NO SOLO

Os sais da paisagem podem se originar de precipitação, intemperismo de materiais depositados, transporte por sistemas fluviais ou fluxo de água subterrânea, sendo a quantificação dessas fontes necessária para uma compreensão adequada da dinâmica dos sais na paisagem (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Os solos afetados por sais podem ser considerados como: a) salinos - quando o acúmulo de sais em solução se eleva ao ponto de provocar estresse osmótico as plantas; b) sódicos - quando a relação de sódio trocável é alta; e c) salino-sódico - quando as condições anteriores ocorrem simultaneamente. Os sais solúveis normalmente presentes na solução dos solos de regiões áridas e semiáridas são constituintes de: sódio (Na⁺), cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), potássio (K⁺), cloreto (Cl⁻), sulfato (SO₄²⁻), bicarbonato (HCO₃⁻), carbonato (CO₃²⁻), borato (BO₃⁻) e nitrato (NO₃⁻) (PEDROTTI *et al.*, 2015).

Os solos são classificados quanto aos problemas de salinidade a partir das variáveis pH, condutividade elétrica do extrato da saturação (CE_{es}) e percentagem de sódio trocável (PST). Com base nesses parâmetros, os solos são classificados como normal, salinos, sódicos e salino-sódicos os valores de pH, CE (dS m⁻¹) e PST (%) são respectivamente: < 4, < 15 e < 8,5 para normal; > 4,0 < 15 e < 8,5 para salinos; < 4,0 > 15 e ≥ 8,5 para sódicos; e > 4,0 > 15

e < 8,5 para salino-sódicos (BATISTA *et al.*, 2002).

No solo, dependendo da natureza e concentração dos íons presentes, podem ocorrer danos inerentes a estrutura como a dispersão de coloides e a formação de estratos impermeáveis, decorrentes da precipitação de carbonatos e silicatos, com reflexos indesejáveis no arejamento e na taxa de infiltração e percolação da água no perfil (RIBEIRO *et al.*, 2016).

As propriedades físicas dos solos, tais como, estrutura do solo, estabilidade dos agregados, dispersão das partículas, permeabilidade e infiltração, são muito influenciadas pelos tipos de cátions trocáveis presentes no solo. Enquanto a acumulação de sais solúveis torna o solo floculado, friável e bem permeável, o aumento do sódio trocável poderá torná-lo adensado, compacto em condições secas, disperso e pegajoso em condições molhadas (RIBEIRO; BARROS; FREIRE, 2009).

A predominância de cátions monovalentes, especialmente o sódio, promove um aumento na espessura da dupla camada iônica difusa, aumentando consideravelmente a expansão das partículas de argila, acarretando em dispersão das mesmas, formando camadas impermeáveis, dificultando o movimento de ar e de água no solo. Além disso, o efeito de expansão, dispersão e migração das partículas de argila nos poros interferem na condutividade hidráulica e na permeabilidade do solo à água (PEDROTTI *et al.*, 2015).

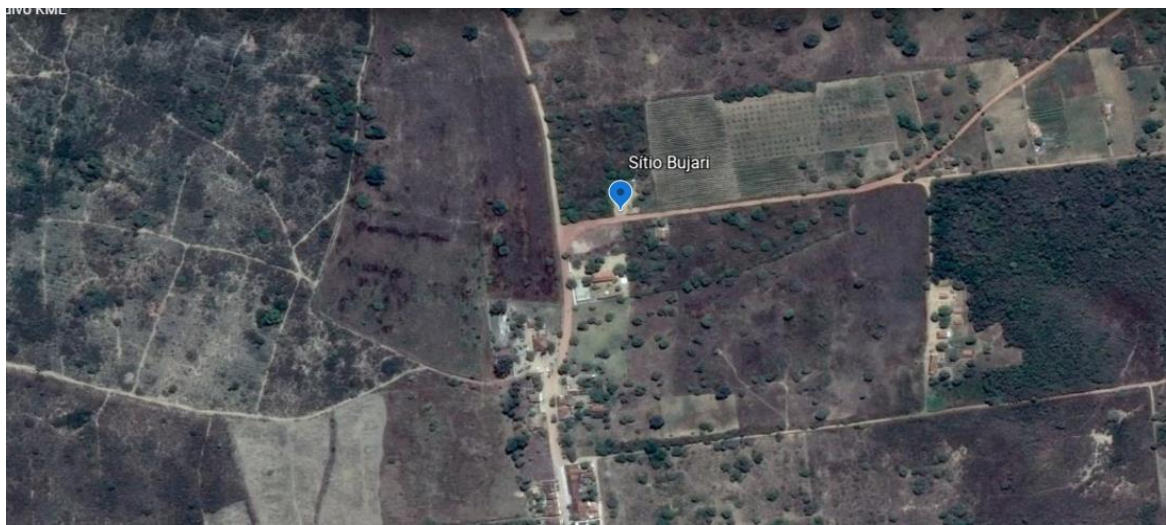
A avaliação das características químicas e salino-sodicidade dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, SE, Brasil feita por Aguiar Netto *et al.* (2007) mostraram que as maiores concentrações de sais e de sódio ocorreram na camada superficial (0–0,2m) do solo. O aumento do pH do solo foi correlacionado significativamente com a porcentagem de sódio trocável, atingindo valores acima de 9,5. Correlações positivas significativas foram observadas entre a condutividade elétrica e os teores de Ca e Mg, indicando que sais desses íons podem estar se acumulando no solo pela ascensão do lençol freático, associado à ausência de lixiviação e drenagem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL, CLIMA E SOLO

O trabalho foi realizado no Sítio Bujari, localizado no município de Cuité, pertencente a microrregião do Curimataú Oriental, na Mesorregião do Agreste Paraibano, o qual está definido pelas seguintes coordenadas geográficas: 6°26'25'' de latitude sul; 36°10'16'' de longitude oeste e altitude de 678 m (Figura 1).

Figura 1. Imagem de satélite da área estudada

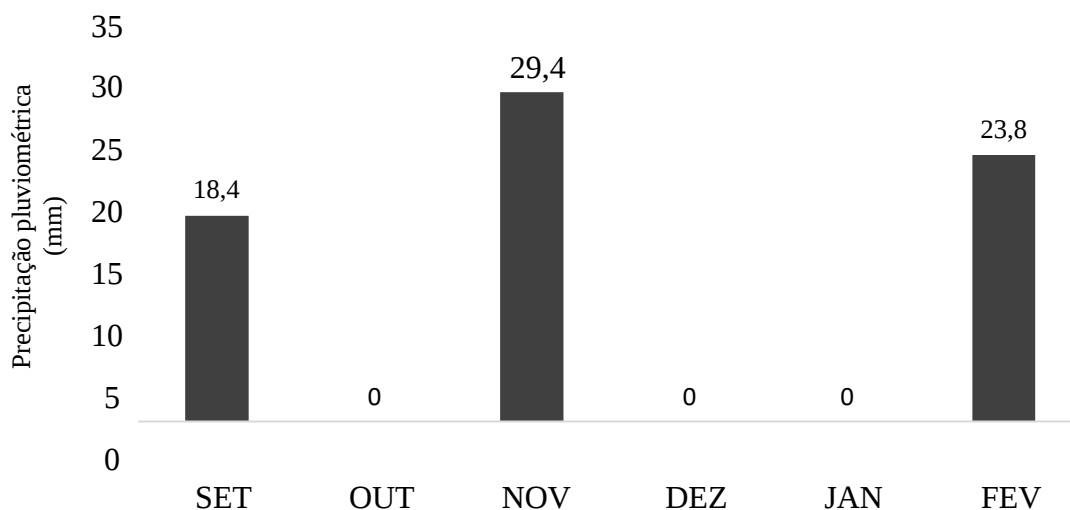


Fonte: Google Earth (2021)

Pela classificação de Köppen, predomina o clima Bsh (semiárido quente), com média pluviométrica anual de 877 mm e temperatura média anual de 22,3 °C. De acordo com a classificação de Gaussen a área está sob influência do bioclima 3bTh (nordestino de seca média), com índice xerotérmico entre 100 e 150 e período seco de 5 a 7 meses (BRASIL, 1972).

Na Figura 2 encontram-se os dados de precipitação pluviométrica registrados na área experimental durante a realização do trabalho.

Figura 2. Precipitação pluviométrica registrada no município de Cuité - PB, durante a condução do trabalho



Fonte: AESA (2021)

Quanto ao relevo, o município de Cuité está inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 650 a 1.000 metros, ocupando uma área de arco que se estende do sul de Alagoas até o Rio Grande do Norte. Localmente, o relevo é praticamente plano com declividade inferior a 3% (CPRM, 2005).

A vegetação primitiva, do tipo floresta subcaducifólia, se encontra praticamente devastada, sendo comum em algumas áreas a ocorrência de vegetação secundária arbustiva típica de Agreste, com predominância de espécies como jurema e marmeleiro (BRASIL, 1972).

Geologicamente, trata-se de uma área de cobertura sedimentar, cujo material original deriva-se de sedimentos argilosos e argiloarenosos da Série Serra do Martins, referida ao Terciário, com baixa presença de minerais pouco resistentes ao intemperismo, pobre em sua constituição mineralógica e como reserva potencial de nutrientes (BRASIL, 1972).

Em relação aos solos, as classes dominantes são os Latossolos Vermelho-Amarelos eutróficos textura argilosa fase floresta subcaducifólia e os Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos textura média fase floresta subcaducifolia, os quais são medianamente profundos, fortemente drenados, ácidos a moderadamente ácidos. Em menor proporção, ocorrem os Neossolos Litólicos, Argissolos e Gleissolos (BRASIL, 1972; CPRM, 2005).

Localmente, o solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo de textura franco argilo arenosa e apresentava nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40 m as seguintes características químicas e físicas: pH = 5,2 e 4,8; $K^+ = 94,0$ e $32,0 \text{ mg dm}^{-3}$; $Ca^{2+} = 1,69$ e $0,71 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$; $Mg^{2+} = 1,69$ e $0,71 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$; matéria orgânica = 21,7 e $13,3 \text{ g kg}^{-1}$; argila = 33,1

e 34,2%; densidade do solo = 1,63 e 1,60 g cm⁻³ e porosidade total = 0,36 e 0,37 m³ m⁻³ (EMBRAPA, 1997).

3.2 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO CULTIVO

O estudo foi realizado num talhão de maracujazeiro amarelo de 7.200 m² contendo 1200 plantas. O plantio foi realizado em março de 2020, após as operações de preparo de solo (duas gradagens cruzadas e abertura das covas). As covas tinham dimensões de 0,40 × 0,40 × 0,40 m. As mudas foram produzidas conforme recomendações técnicas de Miyake (2016) e plantadas no espaçamento de 2,0 × 3,0 m, resultando numa densidade teórica de 1.666 plantas/ha.

A adubação de plantio consistiu da aplicação de 10 L/cova de esterco bovino. A adubação de cobertura constou da aplicação de 6 kg de N e 30 kg de K₂O, o que equivale a 5,0 e 25,0 g/planta de N e K₂O, respectivamente. As doses de N e K foram aplicadas, via fertirrigação, na forma de ureia (45% de N) e cloreto de potássio (60 % de K₂O), e divididas em duas e três aplicações semanais, respectivamente, durante o mês de setembro de 2020.

O cultivo foi conduzido em condições de sequeiro, sem irrigação, no período entre março e setembro de 2020. A partir do mês de setembro de 2020 foram realizadas irrigações diárias, aplicando-se lâmina de 16,7 L/planta de água. O sistema de irrigação adotado foi o de gotejamento, com emissores do tipo autocompensante e vazão nominal de 3,75 L h⁻¹, previamente avaliados no campo, sob condições normais de operação, apresentando um coeficiente de variação de vazão de 6,33% e vazão de 4,12 L h⁻¹.

3.3 AMOSTRAGENS DE ÁGUA E SOLO

O monitoramento da salinidade da água de irrigação foi realizado a partir de amostragens de água proveniente de um poço artesiano, construído no domínio do Sítio Bujari, apresentando, aproximadamente, 50 m de profundidade.

As amostragens de água para irrigação foram realizadas mensalmente durante os meses de setembro de 2020 e fevereiro de 2021, conforme procedimentos recomendados por Palacios e Aceves (1970). Utilizaram-se recipientes plásticos limpos e higienizados de 500 mL, os quais foram submetidos a ambientalização com a água do próprio poço, após 20 minutos de fluxo contínuo. Os recipientes foram preenchidos até 80 % da capacidade, lacrados, identificados e transportados, em caixa térmica, para laboratório; nesse, as amostras

foram acondicionadas em geladeira a 4 °C até o momento da realização das análises.

Foram coletadas amostras de solos nas profundidades de 0-0,20 m; 0,20-0,40 m e 0,40 a 0,60 m aos 180, 210, 240, 270, 300 e 330 dias após o plantio das mudas (dapm), o que correspondeu aos meses de setembro de 2020 à fevereiro de 2021, totalizando assim seis períodos de amostragem.

Com o auxílio de trado tipo holandês, foi coletada, em cada período de amostragem e profundidade, uma amostra de solo composta a partir de 10 amostras simples. As amostras simples foram coletadas na região do bulbo úmido das plantas. Após coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e encaminhadas para processamento e análises.

3.4 VARIÁVEIS AVALIADAS

As análises de água e solo foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo (LQFS), pertencente a Departamento de Solos e Engenharia Rural (DSER) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, Areia, Paraíba.

Nas amostras de água foram determinadas as seguintes variáveis: pH, condutividade elétrica (CE_a), concentrações de cátions (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e CO_3^{2-}). As análises foram realizadas de acordo com as metodologias propostas por Richards (1954) e constaram dos seguintes métodos analíticos: pH determinado em potenciômetro da MS Tecnopon modelo Luca-210; condutividade elétrica a partir de condutímetro da MS Tecnopon modelo Luca-150; Na^+ e K^+ por fotometria de chama; Ca e Mg por titulação com EDTA; Cl^- por volumetria com $AgNO_3$ em presença de K_2CrO_4 como indicador; SO_4^{2-} por gravimetria a partir da precipitação do sulfato com $BaCl_2$; HCO_3^- e CO_3^{2-} por acidimetria em ácido sulfúrico com presença de fenolftaleína e alaranjado de metila como indicadores, respectivamente.

A partir dos resultados obtidos foram calculados os valores de Relação de adsorção de sódio (RAS) e de Relação de adsorção de sódio corrigida (RAS^0), segundo Medeiros e Gheyi (1997) e Ayers e Westcot (1999), respectivamente.

No solo foram determinadas as seguintes variáveis: pH, condutividade elétrica (CE_{es}), teores de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) e ânions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e CO_3^{2-}). As análises foram realizadas de acordo com as metodologias propostas por Embrapa (1997) e constaram

dos seguintes métodos analíticos: pH determinado em potenciômetro da MS Tecnocon modelo Luca-210; condutividade elétrica a partir de condutivímetro da MS Tecnocon modelo Luca-150; Na^+ e K^+ por fotometria de chama; Ca e Mg por titulação com EDTA; Cl^- por volumetria com AgNO_3 em presença de K_2CrO_4 como indicador; SO_4^{2-} por gravimetria a partir da precipitação do sulfato com BaCl_2 ; HCO_3^- e CO_3^{2-} por acidimetria em ácido sulfúrico com presença de fenolftaleína e alaranjado de metila como indicadores, respectivamente.

A partir dos resultados obtidos foram estimados os valores de porcentagem de sódio trocável (PST) do extrato de saturação, bem como os valores da relação de adsorção de sódio (RAS), conforme as seguintes expressões:

$$\text{PST}(\%) = \frac{\text{Na}}{\text{CTC}} * 100 \quad (1)$$

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{0,5 * (\text{Ca} + \text{Mg})}} \quad (2)$$

em que:

Na, Ca e Mg = teor de sódio, cálcio e magnésio no extrato de saturação, mmol/dm³; CTC = capacidade de troca de cátions a pH 7,0.

A quantidade de sais dissolvidos totais (SDT), em mg L⁻¹, nas amostras de água coletadas em cada período de amostragem, foi estimada a partir das expressões apresentadas por Holanda et al. (2016):

$$\text{SDT (mg L}^{-1}\text{)} = \text{CE}_a \times 640 \quad (0,1 < \text{CE}_a < 5,0 \text{ dS m}^{-1})$$

$$\text{SDT (mg L}^{-1}\text{)} = \text{CE}_a \times 800 \quad (\text{CE}_a > 5,0 \text{ dS m}^{-1})$$

3.5 CLASSIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

De posse dos resultados analíticos das amostras de água e solo procedeu-se a classificação e a interpretação dos valores com base nos valores de referência apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 Classes, intervalos e riscos de salinidade e sodicidade para água de irrigação

Classe de salinidade	Intervalos de CE(dS/m)	Risco de salinidade	Classe de sodicidade	Intervalos deRAS	Risco de sodicidade
C1	< 0,75	Baixo	S1	0-8	Baixo
				8-16	Médio
				16-23	Alto
				> 23	Muito Alto
C2	0,75-1,50	Médio	S2	0-6	Baixo
				6-13	Médio
				13-19	Alto
				> 19	Muito Alto
C3	1,50-3,00	Alto	S3	0-4	Baixo
				4-9	Médio
				9-14	Alto
				> 14	Muito Alto
C4	>3,0	Muito Alto	S4	0-4	Baixo
				4-7	Médio
				7-12	Alto
				> 12	Muito Alto

Fonte: Adaptado de Richards (1954)

Tabela 2 Classificação de solos afetados por sais

Classificação	CEes (dS/m)	PST (%)
Não salino	< 2,0	< 7,0
Salino	> 2,0	< 7,0
Salino-sódico	> 2,0	> 7,0
Sódico	< 2,0	>7,0

Fonte: Adaptado Massoud (1971)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISES DE ÁGUA

Os valores de pH, condutividade elétrica (CE_a) e relação de adsorção de sódio (RAS) das amostras de água coletadas no período de setembro de 2020 a fevereiro de 2021, estão apresentados na Tabela 3. De maneira geral, verifica-se que houve pequena variação dos valores das respectivas variáveis durante o período de avaliação, principalmente no que se refere aos valores de pH e condutividade elétrica (Tabela 3).

Tabela 3 Valores de pH, condutividade elétrica (CE_a) e relação de adsorção de sódio (RAS) das amostras de água de irrigação coletadas no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021

Mês /Ano	pH	CE_a (dS m ⁻¹)	RAS	Classificação
Setembro /2020	3,2	2,3	19,8	C3S4
Outubro / 2020	3,2	2,5	20,1	C3S4
Novembro / 2020	3,2	2,4	20,5	C3S4
Dezembro /2020	3,2	2,3	21,0	C3S4
Janeiro /2021	3,2	2,3	19,9	C3S4
Fevereiro / 2021	3,3	2,4	19,5	C3S4
Média/ Desvio	3,2/0,07	2,4/0,07	20,2/0,21	C3S4

Fonte: Própria

No que se refere aos valores de pH observa-se que esses permaneceram praticamente inalterados, sendo classificados como ácidos e, portanto, fora da faixa de pH considerada ideal para água de irrigação, que varia de 6,0 a 8,5 (HOLANDA *et al.*, 2016), durante todos os períodos de avaliação (Tabela 3).

Tendência de maior acidificação de águas de poços subterrâneos encontra-se bem documentada na literatura (ALMEIDA, 2010; HOLANDA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2017), sendo determinada pela ação isolada e/ou, combinada dos fatores pressão parcial de CO₂ (pCO_2), composição mineralógica e capacidade de tamponamento do aquífero (SILVA *et al.*, 2017). Assim, devido a reatividade limitada do aquífero (predomínio de quartzo), associada com a baixa alcalinidade e ausência de minerais carbonatados, a água é naturalmente ácida e não possui capacidade de tamponamento (CAVELHÃO *et al.*, 2015).

Tais resultados indicam a necessidade de correções visando evitar efeitos negativos na microbiota e na capacidade nutricional do solo, bem como no sistema radicular das plantas (ALMEIDA, 2010); ademais, águas com baixos valores de pH potencializam os riscos de corrosão de componentes metálicos presentes nos sistemas de armazenagem e condução (CASALI, 2008).

Os valores de condutividade elétrica da água (CE_a) pouco variaram (2,3 a 2,5 dS/m) durante o período de avaliação; todavia, o maior valor de CE_a foi registrado no mês de outubro de 2020, ou seja, logo após o início da fertirrigação (Tabela 3).

Apesar da pequena variação observada nos valores de condutividade durante o período de avaliação constatou-se que todas as amostras apresentaram valores de CE_a dentro do intervalo de 1,5 a 3,0 dS/m, sendo classificadas como C_3 , ou seja, águas de alta salinidade ou com alto risco de salinização (Tabelas 1 e 2). Isso se agrava pelo fato de que conforme Holanda et al. (2016), a aplicação de 1 L dessa água, independente do período de avaliação, adicionará ao solo, em média, 1,54 g de sais dissolvidos totais (SDT).

Os resultados obtidos no presente trabalho estão de acordo com as informações obtidas pela CPRM (2005), ao constatar que 80 % dos poços do município de Cuité foram classificados como fontes de água salina ($SDT > 1,54$ mg/L). Corroboram também com os resultados obtidos por Medeiros *et al.* (2003) ao verificarem predomínio de elevados níveis de salinidade das águas subterrâneas da zona produtora de melão da chapada do Apodi, estados do Ceará e Rio Grande do Norte. Andrade Junior *et al.* (2006) também registraram alta salinidade das águas subterrâneas destinadas à irrigação no semiárido piauiense, sobretudo aquelas situadas no embasamento cristalino.

Conforme Holanda *et al.* (2016) águas do tipo C_3 não devem ser utilizadas em solo com problemas de drenagem e mesmo com drenagem adequada pode ser necessário a adoção de práticas especiais de controle da salinidade. Devem ser utilizadas apenas na irrigação de espécies de alta tolerância aos sais, podendo os riscos serem amenizados com o emprego de irrigação localizada e manutenção do solo continuamente úmido.

Os valores de relação de adsorção de sódio (RAS) aumentaram no período de setembro a dezembro de 2020, com reduções aos valores do início da avaliação nos meses subsequentes (Tabela 3). Apesar disso, os valores de RAS observados durante o período de avaliação foram maiores do que 14,0, indicando que todas as amostras foram classificadas como S4, exibindo, portanto, risco de sodicidade muito alto (Tabelas 1 e 2).

A classificação das águas de irrigação com relação a RAS se baseia essencialmente no efeito do Na^+ nas condições físicas do solo, causando problemas de infiltração pela redução da permeabilidade (Holanda *et al.*, 2016). Conforme ainda esse autor, a água classificada como S4 é inadequada para irrigação, exceto quando sua salinidade é baixa ou média e quando a dissolução de Ca do solo e a aplicação de gesso ou outros condicionadores não faz antieconômico o emprego desta classe de água.

Como os sais da solução do solo (Ca e Mg, principalmente) têm um efeito flocculante que se opõe ao efeito dispersante do Na^+ , para um mesmo valor de RAS, o risco de sodicidade será menor quanto maior for a condutividade elétrica da água de irrigação (CE_{ai}). Assim, quando a salinidade da água de irrigação é muito baixa, existe alto risco de sodicidade, inclusive a valores muito baixos de RAS. Por tal razão, as águas de chuva podem chegar a ser a causa da dispersão dos colóides na superfície do solo, com seus problemas derivados: perda de estrutura, impermeabilidade, alto escoamento, erosão etc (ALMEIDA, 2010).

Na Tabela 4 encontram-se as concentrações individuais e o somatório das concentrações dos cátions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} nas amostras de água coletadas no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021. Verificou-se, em todos os períodos avaliados, prevalência do íon Na^+ , seguido pelo Mg^{2+} e Ca^{2+} , tendo o K^+ apresentado as menores concentrações (Tabela 4).

Tabela 4 Teores individuais e somatório dos cátions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} nas amostras de água coletadas no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021

Mês/Ano	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Soma de Cátions
-----mmolc L ⁻¹ -----					
Setembro/2020	26,3	0,12	0,86	2,65	29,9
Outubro/2020	26,9	0,14	0,76	2,77	30,6
Novembro/2020	26,8	0,15	0,73	2,72	30,4
Dezembro/2020	26,4	0,13	0,71	2,45	29,7
Janeiro/2021	27,1	0,16	0,71	2,99	30,9
Fevereiro/2021	27,1	0,14	0,76	3,10	31,1
Média	26,7	0,14	0,75	2,78	30,4

Estes resultados discordam da sequência ($\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$) observada por Medeiros *et al.* (2003) ao avaliarem a qualidade da água subterrânea de 45 poços da região produtora de melão, no estados do Ceará e Rio Grande do Norte, o que pode ser justificado pelo fato de que os poços amostrados estavam situados em áreas de afloramentos do calcário Jandaíra e, ou, na Formação Grupo Barreiras.

Ainda com base nos resultados apresentados na Tabela 4 constataram-se relações médias entre Na:K, Na:Ca e Na:Mg de 190:1; 36:1 e 10:1, sendo a relação Ca:Mg inferior a 1,0 (0,27:1). Ademais, verificou-se discreta tendência de elevação das concentrações de Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e da soma de cátions, com diminuição da concentração de Ca^{2+} nas amostragens realizadas entre setembro de 2020 e fevereiro de 2021 (Tabela 4).

Em relação aos ânions constatou-se, a partir dos resultados apresentados na Tabela 5,

a ausência de carbonatos e bicarbonatos, registrando-se predomínio de cloreto em relação ao sulfato na relação de 365:1 em todos os períodos avaliados (Tabela 5); ademais, observou-se discreta tendência de elevação das concentrações e da soma dos referidos ânions nas amostragens feitas entre setembro de 2020 e fevereiro de 2021.

Tabela 5 Teores individuais e somatório dos ânions SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} e HCO_3^- nas amostras de água coletadas no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021

Mês/Ano	SO_4^{2-}	Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Soma de Ânions
	-----mmol _c L ⁻¹ -----				
Setembro/2020	0,08	35,7	0,0	0,0	35,8
Outubro/2020	0,14	37,0	0,0	0,0	37,1
Novembro/2020	0,04	35,7	0,0	0,0	35,8
Dezembro/2020	0,08	37,0	0,0	0,0	37,1
Janeiro/2021	0,16	37,0	0,0	0,0	37,2
Fevereiro/2021	0,11	37,0	0,0	0,0	37,1
Média	0,10	36,6	0,0	0,0	36,7

Fonte: Própria

Medeiros *et al.* (2003) constataram ampla variação nas concentrações de Cl^- (4,4 a 22,8 mmol_c L⁻¹) nas águas subterrâneas de poços da região produtora de melão, nos estados do Ceará e Rio Grande do Norte, situando-se, porém, abaixo das concentrações observadas neste trabalho. Por outro lado, diferente do constatado no presente trabalho, houve presença de bicarbonato com concentrações variando de 5,0 a 9,7 mmol_c L⁻¹, o que pode ser explicado pela localização dos poços em áreas de afloramentos do calcário Jandaíra.

Além dos riscos de salinidade e sodicidade torna-se necessário avaliar o risco de toxicidade da água quanto a presença de Na^+ e Cl^- . Dessa forma verifica-se que os teores de sódio e cloreto durante o período de avaliação ficaram acima de 3,0 e 9,0 mmol_c L⁻¹, respectivamente, se enquadrando como águas de restrições severas quanto a toxicidade destes elementos, não sendo recomendadas para irrigar culturas sensíveis aos mesmos (AYERS; WESTCOT, 1999).

Conforme Holanda *et al.* (2016) as águas do cristalino dos estados da Paraíba, Rio Grande do Norte e Ceará são, em geral, cloretadas sódicas com poucas restrições de uso para irrigação, o que diverge dos resultados obtidos nesse trabalho. Dessa forma, considerando os riscos altos de salinidade e muito alto de sodicidade, bem como as restrições severas a Na e Cl torna-se imperiosa o monitoramento da salinidade do solo visando evitar ou minimizar a acumulação desses íons no solo.

4.2 ANÁLISES DE SOLO

Na Tabela 6 constam os valores de pH, condutividade elétrica (CE), percentagem de

sódio trocável (PST) e relação de adsorção de sódio (RAS) determinados no extrato de saturação das amostras coletadas nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm nos respectivos períodos de avaliação. De maneira geral, observou-se que os respectivos valores variaram de forma bastante específica conforme a profundidade de amostragem e o período de avaliação (Tabela 6).

Tabela 6 Valores de pH, condutividade elétrica (CEes), percentagem de saturação de sódio (PST) e relação de adsorção de sódio (RAS) das amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm, no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021

Mês / Ano	Prof.	pH	CEes	PST	RAS	Classificação
	--cm--		-dS/m-	-%-		
Setembro / 2020	0-20	7,02	2,29	2,04	1,72	Salino
	20-40	6,09	2,03	2,06	1,74	Salino
	40-60	5,72	1,45	2,29	2,08	Normal
Outubro / 2020	0-20	5,75	2,22	4,53	5,15	Salino
	20-40	5,57	1,81	5,58	6,52	Normal
	40-60	5,61	2,51	6,49	7,67	Salino
Novembro / 2020	0-20	5,96	1,52	4,10	4,57	Normal
	20-40	6,45	1,70	4,02	4,46	Normal
	40-60	5,72	1,44	3,61	3,90	Normal
Dezembro / 2020	0-20	7,43	1,88	4,78	5,48	Normal
	20-40	5,89	1,71	5,58	6,52	Normal
	40-60	5,90	1,53	5,01	5,77	Normal
Janeiro / 2021	0-20	6,13	1,26	4,19	4,69	Normal
	20-40	5,81	1,34	4,27	4,80	Normal
	40-60	6,17	1,30	3,85	4,24	Normal
Fevereiro / 2021	0-20	6,98	1,41	2,26	2,04	Normal
	20-40	6,63	1,26	3,10	3,21	Normal
	40-60	6,02	1,32	4,15	4,64	Normal

Fonte: Própria

Com relação ao pH verificou-se tendência de diminuição dos valores em profundidade e diferenças entre os períodos de avaliação. O pH da profundidade 0-0,20 m foi, em média, 0,5 e 0,7 unidades de pH superior aos valores observados nas profundidades de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, respectivamente. Quanto aos períodos de avaliação, observaram-se maiores valores na profundidade de 0-0,20 m nas coletas feitas em setembro e dezembro de 2020; por outro lado, os maiores valores de pH nas profundidades de 0,20-0,40m e 0,40-0,60m foram registrados nas coletas efetuadas em novembro de 2020 e fevereiro de 2021, e janeiro de 2020 e fevereiro de 2021, respectivamente (Tabela 6).

No que se refere a condutividade elétrica, verifica-se, de forma geral, tendência de diminuição dos valores em profundidade e maiores valores nas coletas efetuadas nos meses de setembro e outubro de 2020. Os valores médios de CE_{es} nas profundidades de 0-0,20; 0,20-

0,40 e 0,40-0,60 m foram de 1,78; 1,64 e 1,59 dS/m, o que equivale a reduções percentuais de 10 e 12%, respectivamente. Por outro lado, os valores médios de CE_{es} das amostras coletadas nos meses de setembro e outubro de 2020 foram 48 e 68%, respectivamente, maiores em relação aos valores das amostras coletadas em janeiro e fevereiro de 2021 (Tabela 6).

Os resultados obtidos indicam que a dinâmica de acúmulo de sais no solo apresenta uma variação sazonal determinada pelas precipitações pluviométricas e o manejo das irrigações. Assim, os maiores valores de CE_{es} de setembro e outubro de 2020 estão relacionados à conjunção dos seguintes fatores: ausência de precipitações no período (o volume de 18,4 mm foi registrado no início de setembro, antes da coleta das amostras), aumento do valor da CE_a , início das irrigações e baixa evapotranspiração da cultura, contribuindo, assim, para elevação da concentração de sais na solução do solo.

O aumento da evapotranspiração da cultura nos meses subsequentes, associada com a estabilização dos valores de CE_a e uma lâmina de 30 mm de chuva no mês de novembro de 2020, provavelmente contribuiu para a diluição dos sais e redução dos valores de CE_{es} nas diferentes profundidades avaliadas. Vale ressaltar, porém, que a boa permeabilidade associada às condições adequadas de drenagem são fatores determinantes para evitar o acúmulo de sais nesses solos (HOLANDA *et al.*, 2016)

Quanto aos valores de PST e RAS, verificou-se, de forma geral, tendência de aumento dos valores em profundidade e maiores valores nas amostras coletadas nos meses de outubro e dezembro de 2020. Os valores médios de PST e RAS nas profundidades de 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m foram, em média, 13 e 17% maiores em relação aos valores da profundidade de 0-0,20m. Por outro lado, os valores médios de PST e RAS das amostras coletadas nos meses de outubro e dezembro de 2020 foram, em média, 152 e 225 % maiores em relação aos registrados em setembro de 2020, respectivamente (Tabela 6).

O aumento dos valores de PST e RAS em profundidade indica a movimentação de Na^+ no perfil do solo; por outro lado, os maiores valores de PST e RAS nas amostragens feitas em outubro e dezembro se devem aos maiores valores de RAS da água de irrigação nesses meses (Tabela 3). Conforme Holanda *et al.* (2010), o valor da PST do solo se correlaciona positivamente com a razão de adsorção de sódio (RAS) da água de irrigação, de modo que altos valores de PST, especialmente sob condições de baixa salinidade, causam a dispersão de partículas e reduzem a condutividade hidráulica do solo.

Apesar das variações observadas nos valores dos parâmetros de salinidade do solo em função da profundidade e do período de amostragem, constatou-se que a maioria das

amostras, com exceção das profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40m no mês de setembro de 2020 e da profundidade de 0-0,20m nos meses de outubro e novembro de 2020, foram classificadas como normais ou não salinas ($CEes < 2,0$ e $PST < 7,0$) (Tabela 6).

Na Tabela 7 constam os teores individuais e o somatório dos cátions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} para as diferentes profundidades e períodos de avaliação. Pelos resultados constatou-se que a aplicação da água de poço juntamente com a fertirrigação e as precipitações pluviométricas promoveram consideráveis mudanças nos teores individuais e no somatório dos cátions nas respectivas profundidades e períodos de avaliação.

Tabela 7 Teores dos cátions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e somatório de cátions nas amostras de solocoletadas, nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm, no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021

Mês/Ano	Prof.	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Soma de Cátions
	--cm--	-----mmol/L-----				
Setembro/2020	0-20	0,61	5,97	8,47	8,62	40,76
	20-40	0,73	5,26	5,60	7,49	32,16
	40-60	2,26	3,92	2,85	2,99	17,85
Outubro/2020	0-20	0,46	9,46	4,47	4,24	27,33
	20-40	0,54	9,33	3,47	2,12	21,04
	40-60	1,47	10,47	2,72	2,49	22,36
Novembro/2020	0-20	0,37	7,92	5,97	1,49	23,21
	20-40	0,52	7,76	5,47	1,99	23,20
	40-60	0,80	6,48	6,47	2,49	20,20
Dezembro/2020	0-20	0,51	10,67	6,47	3,49	31,10
	20-40	0,31	9,64	5,97	1,99	21,87
	40-60	0,78	7,48	5,97	2,49	17,18
Janeiro/2021	0-20	0,19	6,43	5,47	3,49	16,04
	20-40	0,15	6,56	4,47	0,24	16,13
	40-60	0,33	6,65	5,47	0,49	18,90
Fevereiro/2021	0-20	0,48	5,42	5,47	5,99	28,82
	20-40	0,36	5,46	5,47	0,74	18,24
	40-60	1,04	6,70	4,97	0,24	18,15

Fonte: Própria

De forma geral observou-se tendência de diminuição dos teores de Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e da soma de cátions, e de aumento dos teores de K^+ em profundidade, com considerável variação nos teores dos cátions em função dos períodos de amostragem. Assim, os maiores teores de K^+ e Mg^{2+} , nas três profundidades, e os teores de Ca^{2+} na profundidade de 0-0,20m foram registrados no mês de setembro. Os maiores teores de Na^+ , nas profundidades de 0-0,20e 0,20-0,40 m e os teores de Ca^{2+} na profundidade de 0,20-0,40m, foram obtidos nas coletas efetuadas em dezembro. Por fim, os maiores teores de Na^+ e Ca^{2+} na profundidade de 0,40- 0,60 m foram registrados no mês de outubro (Tabela 7).

Outra constatação importante refere-se a participação dos cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+

no extrato de saturação. No mês de setembro de 2020 e nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40m houve prevalência dos cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} em relação ao Na^+ . Todavia, a partir do mês de outubro de 2020, em todas as profundidades, o Na^+ passa a ser o cátion dominante, havendo novo predomínio de Ca^{2+} e Mg^{2+} em relação ao Na^+ a partir de fevereiro de 2021 (Tabela 7).

Na Tabela 8 encontram-se os teores dos ânions SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- e o somatório destes nas amostras de solo coletadas nos diferentes períodos e profundidades de amostragem. Pelos resultados verifica-se, de forma geral, a ausência de carbonatos em todas as amostras coletadas, bem como a prevalência de ânions na seguinte ordem decrescente: $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$. Ademais, houve diminuição dos teores dos referidos ânions em profundidade, sobretudo para os teores de sulfato (Tabela 8).

Os teores dos referidos ânions variaram em função da profundidade de amostragem e do período de avaliação. Assim, os maiores teores de sulfato na profundidade de 0-0,20m foram registrados em fevereiro de 2021, enquanto que nas demais profundidades foram obtidos em novembro de 2020. Quanto aos teores de bicarbonato foram registrados maiores teores em dezembro de 2020 para a profundidade de 0-0,20m e no mês de fevereiro de 2021 para as profundidades de 0,20-0,40 e 0,40-0,60m. Maiores teores de cloreto nas duas primeiras profundidades foram observados em dezembro de 2020, sendo o maior teor na profundidade de 0,40-0,60m obtido no mês de outubro de 2020 (Tabela 8).

O comportamento dos teores dos ânions cloreto e sulfato estão diretamente relacionados com a composição química da água de irrigação (Tabela 4); ademais, para o caso do cloreto deve-se acrescentar o efeito da adição do elemento via fertirrigação com cloreto de potássio. Isso indica a necessidade de reavaliação da fonte potássio utilizada na fertirrigação, tendo em vista as concentrações elevadas de cloro da água de irrigação e dos riscos severos de toxidez em todos os períodos de avaliação.

Por outro lado, considerando a ausência de bicarbonato na água de irrigação, os teores de bicarbonato no solo são decorrentes da aplicação de fertilizantes nitrogenados contendo N na forma amídica (ureia, por exemplo). Após a aplicação ao solo, a ureia $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2]$ é hidrolisada pela enzima urease, resultando na formação de carbonato de amônio $[\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3]$, que se decompõe rapidamente, originando amônio, bicarbonato e hidroxila $[(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- + \text{HCO}_3^-]$ (TASCA et al., 2011).

Tabela 8. Teores dos ânions SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- e somatório de ânions nas amostras de solo coletadas, nas profundidades de 0-20; 20-40 e 40-60 cm, no período de setembro de 2020 à fevereiro de 2021

Mês/Ano	Prof.	S- SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	Soma de Ânions
	---cm---	-----mmol/L-----				
Setembro/2020	0-20	3,01	0,00	6,05	20,85	32,93
	20-40	2,56	0,00	4,80	17,10	27,03
	40-60	0,35	0,00	3,55	14,60	18,85
Outubro/2020	0-20	2,23	0,00	4,80	24,60	33,85
	20-40	2,26	0,00	3,55	19,60	27,68
	40-60	0,91	0,00	3,55	24,60	29,98
Novembro/2020	0-20	2,78	0,00	6,05	18,35	29,96
	20-40	3,51	0,00	6,05	19,60	32,66
	40-60	3,01	0,00	6,05	17,10	29,17
Dezembro/2020	0-20	2,28	0,00	22,30	34,60	61,46
	20-40	1,13	0,00	6,05	20,85	29,16
	40-60	2,63	0,00	6,05	18,35	29,65
Janeiro/2021	0-20	2,13	0,00	6,05	14,60	24,90
	20-40	2,55	0,00	6,05	17,10	28,25
	40-60	1,86	0,00	6,68	17,10	27,49
Fevereiro/2021	0-20	3,66	0,00	7,30	14,60	29,22
	20-40	3,16	0,00	6,68	13,35	26,35
	40-60	2,93	0,00	7,30	15,85	29,01

Fonte: Própria

Em resumo, os resultados obtidos neste trabalho indicam que apesar da boa permeabilidade e das adequadas condições de drenagem, o sistema de manejo adotado (lâmina, turno de rega e qualidade da água, etc) favorece a acumulação de Cl^- e Na^+ nas profundidades de 0-0,20 e 0,20-0,40m na ausência de precipitação. Dessa forma, embora o maracujazeiro seja considerado moderadamente tolerante à salinidade, as plantas podem estar sendo submetidas às condições adversas de estresse hídrico, toxicidade e desequilíbrios nutricionais relacionados com esses íons nos respectivos períodos.

5 CONCLUSÕES

Com base nos dados e informações obtidas podem-se extrair as seguintes conclusões:

- a) a composição química da água de irrigação apresenta pequenas variações no período avaliado; trata-se de água ácida, cloretada-sódica, isenta de carbonatos e bicarbonatos, e com alto risco de salinidade (C_3), risco muito alto de sodicidade (S_4) e toxicidade severa de Cl^- e Na^+ ;
- b) a concentração de cátions ($Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^+$) e ânions ($Cl^- > SO_4^{2-} > CO_3^{2-} = HCO_3^-$) da água de irrigação pouco variou no período de avaliação, observando-se aportes médios de 26,7; 2,78; 0,75 0,14 mmolc L^{-1} de Na, Mg, Ca e K, e de 36,6 e 0,10 mmolc L^{-1} de Cl^- e SO_4^{2-} ;
- c) sódio e cloro são os íons que mais se acumulam no solo, principalmente nas camadas superficiais e nos meses com precipitação menor ou ausente (outubro à dezembro); em razão disso, o solo foi classificado como salino nos meses de setembro e outubro e como normal ou não salino no restante do período avaliado.

REFERÊNCIAS

- AESA. Precipitação mensal dos municípios paraibanos 2019. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>
- AGUIAR NETTO, A. O. et al. Características químicas e salino-sodicidade dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, SE, Brasil. **Ciência Rural**, v.37, n.6, p. 1640 – 1645, 2007.
- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. - Dados eletrônicos. - Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.
- ANDRADE JUNIOR, A.S. et al. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no semiárido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.4, p.873-880, 2006.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade de água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, 153p. FAO. Estudos Irrigação e Drenagem, 29 revisado 1
- BATISTA, M. J. et al. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos**. 2.ed., rev. e ampliada. Brasília: CODEVASF, 2002. 216p.
- BELTRÂM, J.L. Integrated approach to address salinity problems in irrigated agriculture. In: GHEYI, H. R. et al. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2 ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p.2-7.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisa e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do solo. **I Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, 1972. 638p. (Boletim Técnico, 15; SUDENE, Série Pedológica, 8).
- CASALI, C. A. et al. **Qualidade da água para consumo humano ofertada em escolas e comunidades rurais da região central do Rio Grande do Sul**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2008.
- CAVELHÃO, G. et al. pH como variável indicadora em águas subterrâneas de vazamentos provenientes de sequestro geológico de carbono. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n.2, p. 452-461, 2015.
- CAVALCANTE, L.F. et al. Resposta do maracujazeiro-amarelo à salinidade da água sob diferentes formas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, (Suplemento), p.314-317, 2005.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual e métodos de análises de solo**. 2. ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.
- FAO. **Status of the World's Soil Resources**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, 2015
- GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T. et al. (Eds.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.329-345.
- HOLANDA, J. S. et al. Qualidade da água para irrigação. In: GHEYI, H. R. et al. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2 ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p.35-50.
- MACEDO, L.S. et al. Monitoramento de sais na água e nos solos irrigados do Projeto Vereda Grande, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande,

v.2, p.47-51, 1998.

MASSOUD, F. I. A note on the need for accented definitions and method of characterization of salts affected soils. In: REUNION DE LA SUBCOMISIÓN DE SUELOS SALINOS, 1971, Sevilla. **Anais [...]** Sevilla: Iryda, 1971.

MEDEIROS, J.F. et al. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.469-472, 2003.

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

MIYAKE, R. T. M. **Nitrogênio, fósforo e potássio no estado nutricional, produtividade e qualidade do maracujazeiro amarelo**. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente, 124p., 2016.

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

PEDROTTI, A. et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308-1324. 2015.

PORTO FILHO, F.Q. et al. Evolução da salinidade e pH de solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.11, p.1130-1137, 2011.

RHOADES, J.D. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. **Advances in Agronomy**, v.49, n.1, p.201-251, 1994.

RIBEIRO, M. R. et al. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R. et al. (Eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p.34-39.

RIBEIRO, M. R.; BARROS, M. F. C.; FREIRE, M. B. G. S. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.). **Química e mineralogia do solo**. Parte II – Aplicações. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.449-484. 2009.

RIBEIRO, M. R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A. A. A. Solos halomórficos no Brasil: Ocorrência, gênese, classificação, uso e manejo sustentável. In: CURI, N. et al. (eds.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.3, p.165-208. 2003.

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

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM. Diagnóstico do município de Cuité, estado da Paraíba. In: MASCARENHAS, J. C. et al. (Eds.). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento de água subterrânea, estado da Paraíba**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

SHAHID, S.A. et al. Soil Salinity: Historical perspectives and a world overview of the problem. In: ZAMAN, M. et al. **Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using**. International Atomic Energy Agency, 2018. p. 42-53.

SILVA, A.B. et al. Parâmetros físico-químicos da água utilizada para consumo em poços artesianos na cidade de Remígio-PB. **Águas Subterrâneas**, São Paulo, v. 31, n. 2, p.109-118, 2017.

SILVA, E. N. et al. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansô sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v.40, n.2, p.240-246, 2009.

TASCA, F.A. et al. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de uréase. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.43-502, 2011.