



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 6, nº 2 (2020)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2020v6n2ID19362>



CARACTERIZAÇÃO HIDROQUÍMICA DE AQUÍFERO ALUVIAL PARA USO AGRÍCOLA

**Renata Nayara Câmara Miranda Silveira¹;
Itabaraci Nazareno Cavalcante²; Filipe da Silva
Peixoto³; Antonio Flávio Costa Pinheiro⁴**

¹Doutora em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza/CE, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3519-8649>

Email: eng.agro.renatanayara@gmail.com

²Doutor em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza/CE, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6943-5318>

Email: itabaracacavalcante@gmail.com

³Doutor em Geologia, Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN), Mossoró/RN, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5409-3001>

Email: felipepeixoto@uern.br

⁴Mestre em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Estadual do Ceará (UECE), Fortaleza/CE, Brasil.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5550-7616>

Email: fpinheiro666@gmail.com

Resumo

Devido à marcante irregularidade climática do semiárido brasileiro, os aquíferos aluvionares tem permitido a irrigação de vales, exercendo sua importância socioeconômica para estados do semiárido brasileiro. Contudo, estudos hidroquímicos são essenciais para diminuir os riscos de salinidade dos solos irrigados. O presente trabalho buscou caracterizar a hidroquímica de um trecho do Aquífero Aluvionar do rio Curu – Ceará, e identificar suas limitações para irrigação. Para isso foram coletadas, em duas campanhas de campo, amostras para parametrização físicoquímica da água subterrânea. A amostragem se deu em 10 poços durante o período chuvoso, agosto de 2017, e no período seco, novembro de 2017 e foram descritas por meio de diagrama de Piper e diagrama de risco de sodicidade de Richards. Os resultados mostraram que as águas possuem classes variadas, no período chuvoso e no seco, houve uma predominância de águas de classe mista e cloretadas. Quanto ao risco de sodicidade, as águas apresentaram alto teor salino, que

oferecem risco à salinização dos solos, no entanto, com um bom manejo da irrigação é possível utilizar a água, controlando os fatores de infiltração e drenagem. O estudo contribuiu para um melhor conhecimento hidroquímico das aluviões, e uso agrícola desse reservatório estratégico para as regiões semiáridas.

Palavras-chave: Irrigação; Risco de sodicidade; Semiárido.

HIDROCHEMISTRY CHARACTERIZATION OF ALLUVIUM AQUIFER FOR AGRICULTURAL USE

Abstract

Due to strong climate irregularity of the Brazilian semiarid, the alluvium aquifers have been allowed irrigation of valleys, promoting socioeconomic importance for semiarid Brazilian states. However, hydrochemistry studies are essential for integrated and sustainable management that decrease salinity risk of the irrigated soil. The present study aimed to characterize the hydrochemistry of an alluvium aquifer stretch on Curu River – State of Ceará, to identify limitations for irrigation. We collected samples in situ to physiochemistry analysis of groundwater in two field camping. The sampling occurred in 10 wells during august 2017 (final of the rainy period) and November 2017 (dry period). The description and analysis of data was realized by Piper's diagram and Richard's diagram for toxicity risk. The results showed a varied water classes on rainy and dry period, in this last there was predominance of mixed and chlorinated water classes. About the toxicity risk, water presented high salinity content with salinization risk of soils, however it is possible utilized this water applying best managing practices in irrigation, controlling the infiltration and drainage factors. The study contributed to a better hydrochemistry knowledge of alluvium aquifers and agriculture use of this resource in semiarid regions.

Keywords: Irrigation; Toxicity risk; Semiarid.

CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DE ACUÍFEROS ALUVIARES PARA USO AGRÍCOLA

Resumen

Debido a la marcada irregularidad climática del semiárido brasileño, los acuíferos aluviales han permitido el riego de los valles, ejerciendo su importancia socioeconómica para los estados de la región semiárida brasileña. Sin embargo, los estudios Los

hidroquímicos son fundamentales para reducir el riesgo de salinidad en suelos de regadío. El presente trabajo buscó caracterizar la hidroquímica de un tramo del Acuífero Aluvial del Río Curú - Ceará, e identificar sus limitaciones para irrigación. Para ello, se recolectaron muestras en dos campañas de campo para la parametrización fisicoquímica del agua subterránea. El muestreo se realizó en 10 pozos durante la época de lluvias, agosto de 2017, y en la época seca, noviembre de 2017 y se describieron mediante un diagrama de Piper y un diagrama de riesgo de sodicidad de Richards. los resultados mostraron que las aguas tienen diferentes clases, en los períodos lluvioso y seco, hubo un predominio de aguas de clase mixtas y cloradas. En cuanto al riesgo de sodicidad, las aguas tenían un alto contenido en sal, lo que ofrecen riesgo de salinización del suelo, sin embargo, con un buen manejo del riego es posible utilizar agua, controlando los factores de infiltración y drenaje. El estudio contribuyó a un mejor conocimiento hidroquímico de la aluviones y uso agrícola de este embalse estratégico para regiones semiáridas.

Palabras-clave: Irrigación; Riesgo de sodicidad; Semiárido.

1. INTRODUÇÃO

O conteúdo de sais na água tem uma grande variabilidade, dependendo do manancial em que é coletada, das características fisiográficas e geoambientais da bacia, do tipo e dinâmica hidrogeoquímica na interação rocha-água, do manejo e ocupação do solo, entre outros fatores ambientais. A avaliação da qualidade da água para irrigação se dá em função dos prejuízos que possam acarretar ao solo, à planta e ao sistema de irrigação, nos quais os aspectos salinidade e sodicidade são os principais indicadores (AYRES & WESTCOT, 1991).

No Nordeste brasileiro é comum a ocorrência de solos e águas com altos teores de sais, devido à natureza das rochas cristalinas predominantes, má distribuição de chuvas associada ao seu elevado potencial de evapotranspiração. Além disso, à baixa atividade bioclimática no processo de intemperismo e drenagem deficiente, fazendo com que o processo de precipitação de sais no solo e na água sejam acelerados (HOLANDA *et al.*, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2011; PEDROTTI *et al.*, 2015). O excesso de sais solúveis reduz o potencial osmótico da solução do solo, causando dificuldades no processo de absorção de água pela planta e desbalanço nutricional, afetando o desenvolvimento das culturas (GHEYI *et al.*, 2010; DUARTE *et al.*, 2015).

Nesse contexto, o uso estratégico das águas dos aquíferos aluvionares para irrigação no semiárido precisa ser compatibilizado com os tipos de solos e culturas. Silveira *et al.* (2018, p. 54) considera o fato da instalação de perímetros irrigados (PI) no semiárido nordestino ser implementado em áreas com maior disponibilidade hídrica, muitos associados a sistemas de açudagem e ocorrência de aluviões, como o Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste (PICP) afirmando que “As aluviões correspondem a aquíferos com reservas estratégicas dentro do ambiente semiárido nordestino”. Contudo, o baixo conhecimento sobre as características quali-quantitativas destas águas tem dificultado seu gerenciamento e, assim, o maior uso das águas ocorre nos períodos de seca interanuais, muitas vezes sem outorga

e por meio de obras de captação improvisadas, podendo comprometer as reservas hídricas.

Desde 2014 as águas disponíveis para irrigação no PICP são oriundas quase que na sua totalidade do Aquífero Aluvionar, que por sua vez recebe recarga dos açudes à montante, quando estes transbordam via canal principal do rio e da própria precipitação pluviométrica. A inclinação do aquífero em direção a foz, naturalmente provoca um fluxo hídrico subterráneo de direção semelhante ao do Rio Curu (SO para o NE). Na margem do Rio Curu, encontram-se os poços rasos analisados nesta pesquisa, que possuem profundidade máxima de 9 m e nível estático variando sazonalmente de acordo com a recarga e exploração da água no momento da medição.

Em litotipos sedimentares, a maior facilidade de dimensionamento de reservas e a maior vocação aquífera associada aos aquíferos intersticiais, que de um modo geral, representam melhor acesso e disponibilidade hídrica, em comparação com os aquíferos fissurais. Particularmente, quando se trata de regiões com escassez hídrica superficial, essas áreas sedimentares são de grande importância estratégica para garantia e sustentabilidade hídrica para irrigação. Na Bacia do Rio Curu, Peixoto *et al.* (2017) destacaram a importância da água subterránea na agricultura, que consome 57% da vazão outorgada. No entanto, também é necessário que esta atenda padrões de qualidade compatíveis com as condições edáficas e sistema de irrigação das culturas (GOMES *et al.*, 1995).

Desse modo, o presente trabalho buscou caracterizar a química das águas subterráneas de um trecho do Aquífero Aluvionar do Rio Curú, e identificar sua aptidão e limitações para o uso na agricultura. Os resultados contribuem para um melhor conhecimento químico das águas das aluviões, considerando a sazonalidade e condições hidroclimáticas do semiárido, promovendo a produção de dados/informações para subsidiar formas mais eficazes do uso agrícola das águas, observando as limitações de qualidade, risco de salinização dos solos e tipos de culturas adaptadas as condições edáficas.

2. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada na parte que abrange a aluvião do PICP, construído pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS, com implantação iniciada em 1974 e concluída em 1979.

Foram selecionados 10 pontos de amostragem, selecionando-os de acordo com os seguintes critérios: poços com nível estático maior que 1,5m; poços ativos; poços mais acessíveis e com permissão do proprietário. Na Figura 1 é mostrado os locais das coletas, onde se observa áreas sem pontos de amostragem.

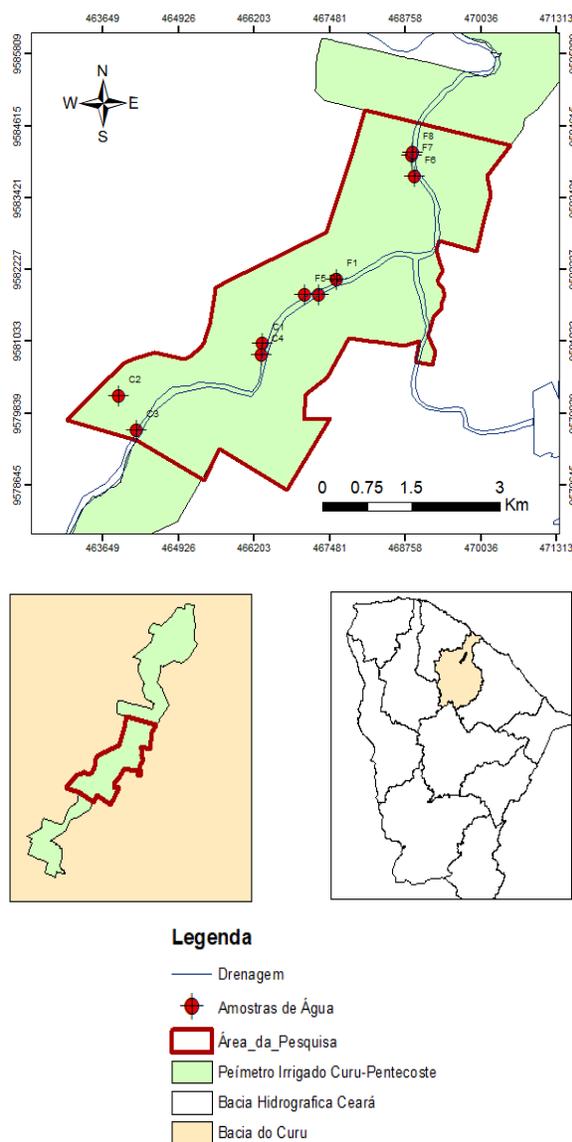


Figura 1 – Localização da área de estudo e locais de coleta de água, PICP - Ceará.. Fonte: autor (2019).

Foram realizadas 4 campanhas de coletas de água, 2 para uma pré-análise, realizada em novembro de 2016 e outra em abril de 2017, quando foram analisados pH, condutividade elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD) em 8 e 12 pontos de amostragem, respectivamente. A 3ª e 4ª coleta foram realizadas em Julho de 2017 e em Novembro de 2017 em 10 poços tubulares rasos, representando o final do período chuvoso e período seco. Foram medidos, em cada uma delas, 18 atributos físico-químicos: pH, condutividade elétrica (CE), bicarbonato (HCO_3^-), alcalinidade, cloreto (Cl^-), cálcio (Ca^{+2}), magnésio (Mg^{+2}), dureza, sulfato (SO_4^{-2}), sódio (Na^+), potássio (K^+), nitrato (N-NO_3^-), nitrito (NO_2^-), nitrogênio amoniacal total (N-NH_3^+), ferro

total (Fe^{+2}), fluoreto (F^-), turbidez e sólidos totais dissolvidos (STD).

As análises físico-químicas das amostras de águas subterrâneas foram realizadas no Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada, setor Geoquímica Ambiental, do Departamento de Geologia do Centro de Ciências da UFC. Os métodos empregados seguiram os procedimentos analíticos descritos no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

O pH, a condutividade elétrica e a salinidade da água foram medidos usando uma sonda multiparâmetros, marca Thermo Scientific Orion e modelo Star A329 Portable. Nitrogênio Total e Fósforo Total foram determinados pelo método da Coluna Redutora de Cádmiio e do Ácido Ascórbico, respectivamente, após digestão com persulfato. Para a pré-análise das águas, foram coletadas amostras em garrafas de 50 mL e os parâmetros de CE, STD, pH, salinidade e temperatura foram medidos com um condutímetro portátil de marca Exttech.

No período da terceira coleta, 90% dos poços estavam inativos, sendo necessário operar uma motobomba para extração da amostra d'água, com bombeamento de aproximadamente 5 a 10 minutos antes da coleta das amostras. A motobomba utilizada foi uma autoescorvante à gasolina de 6,5 cv, com vazão máxima de $35 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Antes do bombeamento, foi medido o nível estático e a profundidade do poço para obtenção da coluna d'água disponível no poço.

As amostras foram coletadas em garrafas de plástico de 0,5 L, esterilizadas, e para análise da amônia, foi coletada 20mL de água em um vidro escuro (âmbar) contendo reagentes estabilizantes (fenol e citrato) para, logo em seguida, as amostras serem postas sob refrigeração e sob abrigo da luz em um isopor com gelo até a chegada no laboratório.

Foi realizada a classificação das águas para fins de irrigação através da metodologia adotada pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, proposto por Richards (1954), a qual apresenta um diagrama de classificação combinando a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) e a concentração total de sais, o que possibilita formar 16 classes de água, variando de C1 a C4 e S1 a S4 em todas as combinações possíveis, sendo que uma água C1 apresenta baixa salinidade, condutividade elétrica (CE) inferior a $250 \mu\text{S cm}^{-1}$ ($0,25 \text{ dS m}^{-1}$) e C4 representa água de muito alta salinidade, condutividade elétrica variando entre 2250 e $5000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ ($2,25 \text{ dS m}^{-1}$). Quanto à classificação de S1 a S4, está relacionada ao risco de sodicidade que assim como o risco da salinidade, pode ser baixo, médio, alto ou muito alto, sendo expresso pelo índice RAS (Equação 01) baseada essencialmente no efeito do sódio nas condições físicas do solo, causando problemas de infiltração pela redução da permeabilidade (SILVA *et al.*, 2011)

$$RAS = \frac{r\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{r\text{Ca}^{++} + r\text{Mg}^{++}}{2}}} \quad (\text{Eq. 01})$$

Em que, “r” significa miliequivalente por litro de solução.

O uso da RAS, como proposto originalmente pelo Laboratório de Salinidade do Solo dos Estados Unidos (Richards,

1954) tem sido, frequentemente criticado por subestimar o risco de sodicidade e por não levar em consideração outros íons (ânions como HCO_3^- e CO_3^{2-}) sugerindo-se métodos de cálculos alternativos, como os da RAS ajustada (RASaj) e da RAS corrigida (RAScor). Os valores de RAScor colocam-se intermediários entre RAS e RASaj, o que sugere cautela na hora de se tomar decisões quanto à classificação da água para fins de irrigação (OLIVEIRA e MAIA, 1998).

A Tabela 1 apresenta uma aproximação de problemas potenciais, mas não deve ser utilizado para fornecer critérios definitivos, quando se deve levar em consideração as características da região e as condições financeiras do irrigante para fazer a correção dessas águas.

Tabela 1 - Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação. Fonte: Adaptado Nakayama (1982) e Ayers e Westcot (1994). Legenda: CE- Condutividade elétrica; STD - Sólidos Totais Dissolvidos

Problema potencial	Grau de Restrição		
	Nenhum	Leve a moderado	Severo
Salinidade	-	-	-
CE (dS/m)	< 0,7	0,7 a 3,0	>3,0
STD (mg/l)	< 450	450 a 2000	>2000
Entupimento*	-	-	-
pH	<7,0	7,0 – 8,0	>8,0
STD	<500	500 -2000	>2000
Toxicity			
Fe ⁺² (mg/l)	<0,1	0,1-1,5	>1,5
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	<91,5	91,5-518,6	>518,6
Cl ⁻ (mg/l)	<142	142-354,5	>354,5

*Limitações do uso da água quanto aos riscos de entupimento

A classificação de água para fins de irrigação é um recurso que fornece uma base para prever, com razoável confiança, o efeito geral da sua utilização sobre o solo e a planta e sob o sistema de irrigação.

Para a classificação iônica das águas subterrâneas utilizou-se o Diagrama de Piper, frequentemente usado para classificar o tipo químico da água de acordo com o conteúdo iônico dominante. A representação nesse diagrama é feita em três campos onde são plotados os valores percentuais das concentrações dos principais constituintes iônicos para os cátions e os ânions, sendo possível identificar as fácies hidroquímicas. O cruzamento do prolongamento dos pontos na área do losango mostra sua posição e classifica a amostra de acordo com o fácies. O software utilizado foi o Qualigraf (MOBUS, 2003) que tem uma interface simples e otimizada para a classificação das águas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em geral, a qualidade da água é influenciada por vários processos, destacando-se os naturais: litologia, condutividade hidráulica, qualidade da recarga, integração hidrogeoquímica entre solo rocha e água. Além de processos antropogênicos relacionados ao uso e ocupação da terra, no desenvolvimento de atividades que podem gerar resíduos que influenciam na qualidade da água da recarga.

No período seco, as águas tendem a terem uma concentração maior de sais, como é observado na Tabela 2. É possível verificar que apenas nas amostras dos poços C3 e F5 os valores no período chuvoso foram maiores que no seco. No caso do C3, por tratar de um poço presente bem no meio de uma área cultivada, a maior salinidade de sua água no período chuvoso se deu pela lixiviação de insumos agrícolas, como fertilizantes. Durante o período chuvoso, o valor do nitrato na amostra do poço C3 foi bem elevado, 15,3 mg . L⁻¹. De acordo com Pedrotti et al. (2015), o excesso de sais solúveis na solução do solo é resultado de uma combinação de fatores climáticos, edáficos e manejo do solo.

Tabela 2 - Estatística descritiva das concentrações dos atributos físico-químicos analisados para 20 amostras. Fonte: Autores, 2019.

Parâmetros	Estatística Descritiva Período Chuvoso					Estatística Descritiva Período Seco				
	Mínimo	Máximo	Médio	Desv. Pad.	C.V.	Mínimo	Máximo	Médio	Desv. Pad.	C.V.
pH	4.04	7.47	6.78	1.01	0.15	4.72	7.23	6.68	0.72	0.11
CE(μS/cm)	484.00	1195.00	839.60	247.68	0.29	603.50	1585.00	905.09	290.88	0.32
Bicarbonato (mg CaCO ₃ /L)	4.90	313.00	156.73	82.87	0.53	7.40	342.60	197.89	87.96	0.44
Alcalinidade Total (mg CaCO ₃ /L)	4.00	256.50	128.46	67.92	0.53	6.10	280.80	162.21	72.08	0.44
Cloreto (mg Cl ⁻ /L)	82.30	220.10	143.37	54.30	0.38	95.70	317.80	154.52	71.76	0.46
Cálcio (mg Ca ²⁺ /L)	24.00	67.20	39.92	14.50	0.36	11.20	58.40	37.52	17.38	0.46
Magnésio (mg Mg ²⁺ /L)	19.70	48.00	27.66	9.27	0.34	32.20	62.40	44.39	10.29	0.23
Dureza Total (mg CaCO ₃ /L)	142.00	358.00	215.00	72.58	0.34	190.00	392.00	278.80	59.80	0.21

Sulfato (mg SO₄²⁻/L)	11.40	375.20	105.75	107.63	1.02	21.60	213.00	100.99	69.82	0.69
Sódio (mg Na⁺/L)	37.60	196.60	96.46	46.92	0.49	68.20	263.90	116.92	65.91	0.56
Potássio (mg K⁺/L)	2.30	20.30	10.96	6.95	0.63	4.00	7.00	5.23	1.00	0.19
Nitrato (mg N-NO₃⁻/L)	0.30	15.30	2.27	4.61	2.03	0.20	6.00	1.52	2.53	1.66
Nitrito (mg N-NO₂⁻/L)	0.01	0.03	0.01	0.01	0.72	0.00	0.04	0.01	0.01	1.34
Nitrogênio (mg NH₃/L)	0.00	0.28	0.05	0.09	1.77	0.19	2.50	0.75	0.90	1.20
Ferro (mg Fe/L)	0.50	4.50	2.45	1.40	0.57	0.80	4.60	3.04	1.16	0.38
Fluoreto (mg F⁻/L)	0.20	1.00	0.36	0.24	0.66	0.50	0.80	0.64	0.13	0.20
Turbidez (UNT)	15.00	643.00	138.70	194.46	1.40	33.00	290.00	137.50	85.97	0.63
Sólidos Totais Dissolvidos (mg/L)	335.00	773.00	580.90	153.38	0.26	433.00	1161.00	657.80	213.76	0.32

Legenda: C.V.: Coeficiente de Variância.

É comum a concentração elevada de nitrogênio na água subterrânea em áreas agrícolas devido a aplicação de fertilizantes inorgânicos e orgânicos (estrupe), pois o nitrogênio é facilmente perdido por volatilização ou lixiviação, contaminando a água subterrânea da área explorada (HAMILTON; HELSEL, 1995; SANGOI *et al.*, 2003).

Percebe-se também o elevado valor da CE, maior que 1000 µS/cm nos poços F6 e F7, sendo que estes encontram-se a jusante da área de estudo, localizados quase no leito do Rio Curu, que também é uma área onde a irrigação é intensiva, onde não cessou a irrigação nem no período mais crítico de escassez, pois continuaram irrigando através do bombeamento de água da aluvião. De acordo com Fernandes *et al.* (2010), a irrigação incipiente por parte dos agricultores nos solos Neossolos Flúvicos (Aluvião) pode contribuir com o aumento do sódio nesses solos tornando-os vulneráveis e passíveis de sua contribuição às águas subterrâneas. Moura (2014) encontrou valores de CE mais altos nas águas de poços inseridos num baixio, explicando que esses valores podem estar relacionados aos sais lixiviados e

transportados de áreas mais elevadas para áreas próximas ao nível de base regional.

Observa-se na Figura 2 que durante o período seco as concentrações dos elementos físico e químico analisados apresentam valores maiores no período seco do que no período chuvoso onde há uma diluição desses íons; com exceção apenas do nitrato, o nitrogênio amoniacal e o nitrito seguiram o comportamento geral, com valores mais expressivos no período chuvoso, podendo ser explicado pelo uso de adubos nitrogenados no solo lixiviados durante o período chuvoso. A lixiviação de nitrato é considerada a principal perda do N disponível às plantas, e o excesso de N no solo pode ser facilmente lixiviado até as águas subterrâneas (ERREBHI *et al.*, 1998). Sangoi *et al.* (2003) afirmam que fatores como o sistema de preparo do solo, tipo de solo e a forma de aplicação dos fertilizantes nitrogenados podem influenciar tanto o fluxo de água quanto a concentração de nitrato na solução do solo. Ferro e fluoreto também tiveram maiores concentrações no período seco.

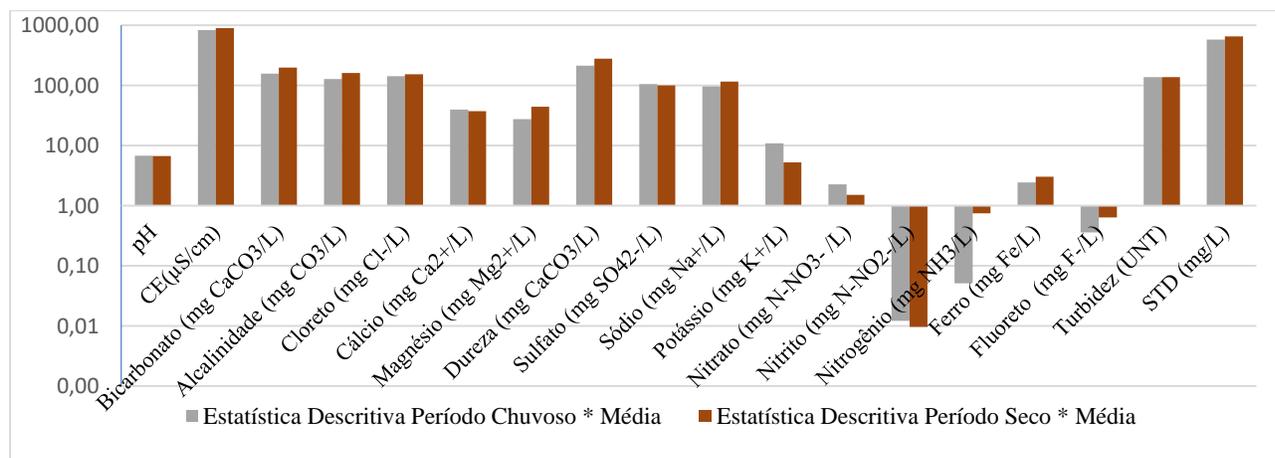


Figura 2 - Valores médios dos parâmetros físico-químicos das águas dos poços analisados no PICP-CE. Fonte: autor (2019).

3.1. Classificação iônica das águas

De acordo com Diagrama de Piper (Figura 3), tanto no período chuvoso como no seco, as amostras tiveram variação quanto a sua classificação iônica. No período chuvoso, 50% das amostras foram classificadas como Mistas, 40% Cloretadas e 10% Sulfatadas e, quanto à abundância de cátions, 60% foram classificadas como Mistas e 40% Sódicas.

Essa variação pode ser atribuída ao regime de exploração da água dos poços e ao uso e ocupação da terra, e localização dos poços em relação a áreas intensamente cultivadas e proximidade do leito do rio. Os poços estão divididos em cores pelos núcleos agrícolas que estão inseridos. Tais núcleos são divisões geográficas do PICP realizada pelo Dnocs para facilitar a administração. Pontos vermelhos são poços inseridos no núcleo C, preto no núcleo D e verde, no núcleo F.

Quanto a abundância de íons (Figura 4), durante o período chuvoso, 40% das amostras foram classificadas como cloretadas, 40% Mistas, 10% Bicarbonatadas e 10% Sulfatadas e, quanto aos cátions, 60% Mistas, 30% Sódicas e 10% Magnesianas.

Moura (2014) encontrou resultados semelhantes nas amostras de águas coletadas no Aquífero Aluvionar do Rio Quixeramobim e afirma que a ocorrência de maiores concentrações de águas cloretadas está relacionada ao meio litológico, a escassez das chuvas e a evapotranspiração.

Não ocorreram muitas mudanças sazonais nas classificações iônicas das 20 amostras analisadas. Em exceção à amostra 9 representado pelo poço F7, que no período chuvoso foi classificada como Cloretada Sódica e no seco como Magnésiana, isso pode ter ocorrido pelo fato deste poço estar localizado em um baixio (leito do rio) já numa posição mais jusante na área de estudo, e recebendo influência das águas do rio no período chuvoso.

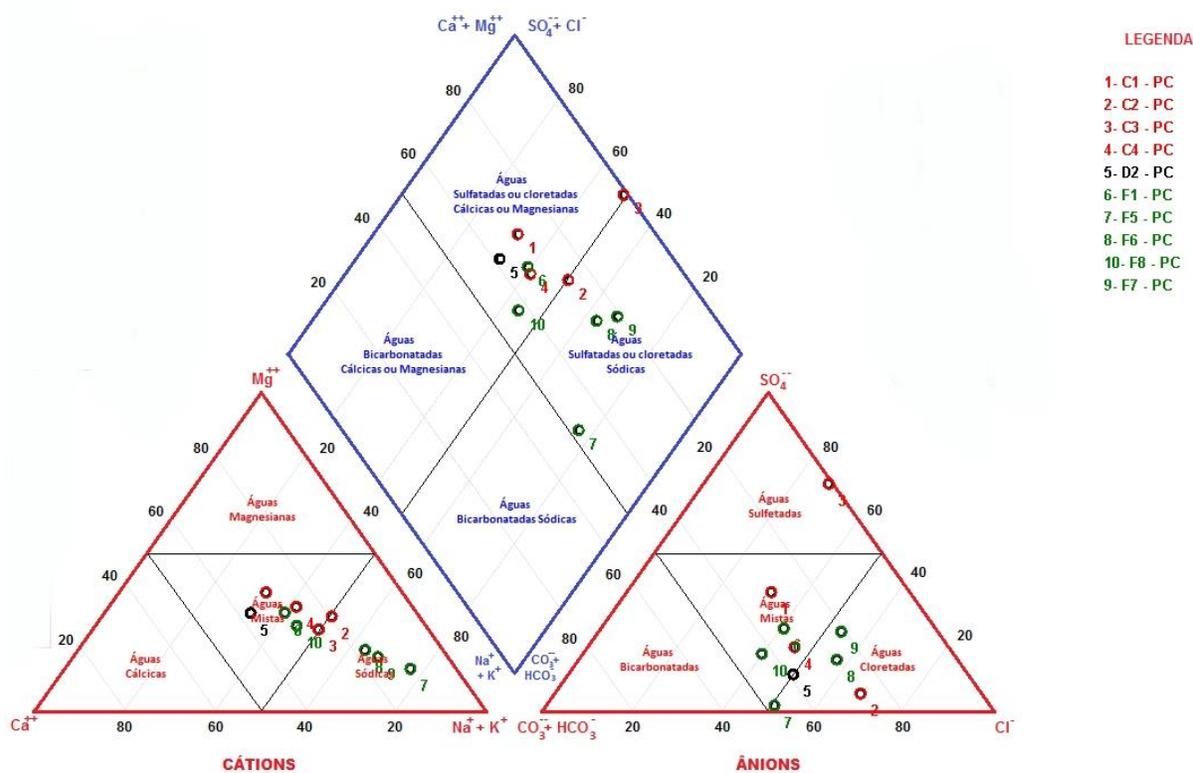


Figura 3 - Classificação iônica das águas segundo o Diagrama de Piper (Período chuvoso). Fonte: autor (2019).

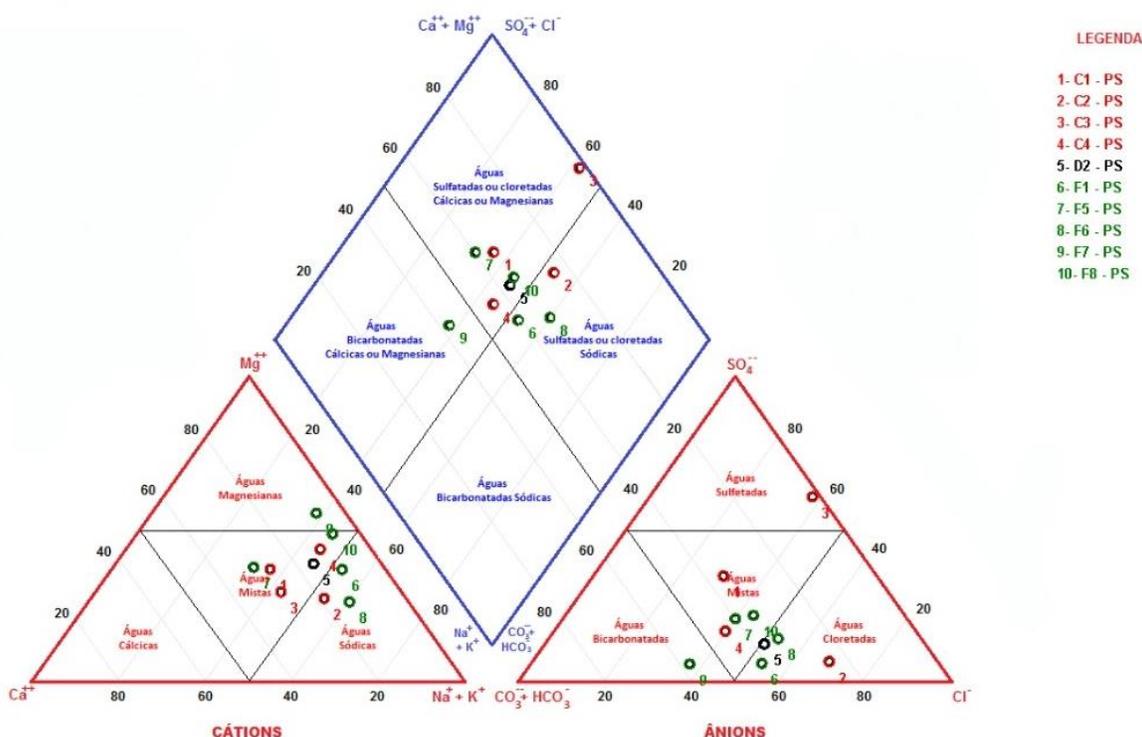


Figura 4 - Classificação iônica das águas segundo o Diagrama de Piper (Período seco).

3.2. Qualidade da água para irrigação

A composição físico-química das águas subterrâneas depende, inicialmente, da composição das águas de recarga (pluviometria, águas superficiais) e, em seguida, de sua evolução química influenciada diretamente pela interação água-rocha representada pela percolação da água através dos poros e/ou fraturas dos litotipos (GOMES *et al.*, 2017). No que se refere a aquíferos sedimentares, a infiltração ocorre de forma mais generalizada e em maiores quantidades, dependendo do tipo de solo e tipo de sedimento, ou rocha sedimentar na camada não saturada. Desse modo, o aquífero pode ser mais vulnerável a contaminação, devido aos efeitos do uso e ocupação do solo.

Os parâmetros que são tratados nesse tópico geralmente são os primeiros a serem investigados quando se trata do uso da água para irrigação. Valores elevados deles podem causar danos as plantas e no solo, sendo comum caracterizar a qualidade da água para irrigação pela salinidade, expressa pela concentração de sais ou de STD, assim como pela CE, considerando que os sais dissolvidos na água conduzem a eletricidade. Na Tabela 3 estão descritos os valores estatísticos dos parâmetros relacionados à salinidade, onde é possível observar a elevação dos valores no período seco.

Tabela 3 - Estatística descritivas dos parâmetros relacionados à salinidade da água.

Parâmetros	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão
CE (µS/cm) P.C.	484	839.6	1195	247.7
CE (µS/cm) P.S.	603.5	897.9	1585	276.9
Na ⁺ (mg Na ⁺ /L) P.C.	37.6	96.46	196.6	46.9
Na ⁺ (mg Na ⁺ /L) P.S.	68.20	115.39	263.9	62.73
STD (mg/L) P.C.	335	580.9	773	153.4
STD (mg/L) P.S.	433	653.9	1161	203.2

Legenda: CE- Condutividade Elétrica; Na⁺ - Sódio; STD - Sólidos totais dissolvidos. P.C. – período chuvoso; P.S. – Período seco.

A salinidade da água representa a quantidade total de elementos dissolvidas num determinado volume de água que podem ser precipitados como sais, e está diretamente ligada com a condutividade elétrica (CE), sódio (Na⁺) e sólidos totais dissolvidos (STD) e quanto mais alto o valor desses parâmetros encontrado nas águas analisadas, maior a salinidade. A condutividade elétrica, que é a medida da facilidade que a água tem para conduzir a corrente elétrica, está diretamente ligada com o teor de sais dissolvidos sob a forma de íons (SANTOS, 2008).

Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos referentes ao ferro total, onde se observa que as amostras analisadas apresentam médio a alto potencial de dano à operação dos sistemas de micro-aspersão e gotejamento. Ayres & Westcot (1991) citam que o máximo valor da concentração de ferro permissível deveria ser de 0,5 mg L⁻¹, no entanto, isso acarretaria uma elevação nos custos de operação de filtragem do sistema de irrigação e, assim, segundo os autores, águas com até 2,0 mg.Fe L⁻¹ são admissíveis para uso na irrigação, e que até 5,0 mg.Fe L⁻¹ não é tóxico para as plantas em solos aerados, mas pode contribuir para a acidificação do solo e perda de disponibilidade de fósforo essencial e molibdênio, além de formar camadas desagradáveis sobre as plantas e equipamentos através da irrigação por aspersão. Como no PICP os solos são Neossolos flúvicos com parcelas apresentando alto teor de argila, a drenagem é pobre, o que restringe o uso de águas ferruginosas nessa região.

Tabela 4 - Concentração de ferro total e classificação das águas do Aquífero Aluvionar do PICP- Ceará.

Amostra	(mg Fe ⁺ L ⁻¹)*	Potencial de Dano
C1	2,2	Alto
C2	4,2	Alto
C3	1,3	Médio
C4	3,2	Alto
D2	0,5	Médio
F1	0,6	Médio
F5	2,8	Alto
F6	1,9	Alto
F7	3,3	Alto
F8	4,5	Alto

*Baixo (< 0,2 mg.L-1); Médio (0,2-1,5 mg.L-1); Alto (> 1,5 mg.L-1). Fonte: Nackayama e Bucks (1986).

A concentração de Fe⁺² na água subterrânea indica uma condição de redox. No estado ferroso (Fe²⁺) forma composto solúveis, e em ambientes oxidantes, o Fe²⁺ passa a Fe³⁺ dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita causando uma coloração avermelhada à água, comumente designada de “capa rosa”. Assim, águas com elevada concentração de ferro ao entrarem em contato com o oxigênio do ar ficam amareladas (GOMES, 2013). Segundo Ayres & Westcot (1991), essa coloração também acontece nas folhas das hortaliças, o que reduz a aceitação e o valor comercial dessas culturas.

O ferro é um dos principais problemas na água de irrigação devido à capacidade de obstruir fisicamente as tubulações e emissores dos sistemas de irrigação localizada (NACKAYAMA e BUCKS, 1986). A distribuição das águas quanto ao teor de Ferro na área de estudo mostra que as maiores concentrações estão no Norte e Sudeste, mais precisamente, onde estão os poços C2 e F8.

Devido as altas concentrações ferro total encontradas nas águas aluvionares, para utilização dessa água na irrigação é necessário utilizar sistemas de filtragem, principalmente nos sistemas de irrigação localizada, para se evitar o entupimento das tubulações e gotejadores e, ainda, a perda de pressão de serviços dos sistemas (BARBOZA et al., 2010).

Quanto à classificação proposta por Richards (1954), 60% das amostras para o período chuvoso foram classificadas como C3 S1 (água com alta salinidade e baixa sodicidade), 10% como C2S1 (água com salinidade média e baixa sodicidade) e 30% como C3S2 (água com alta salinidade e mediamente sódica). Quanto a salinidade dessas águas, para sua utilização é necessário fazer o manejo correto da irrigação e do solo para que este não venha a salinizar (Figura 5).

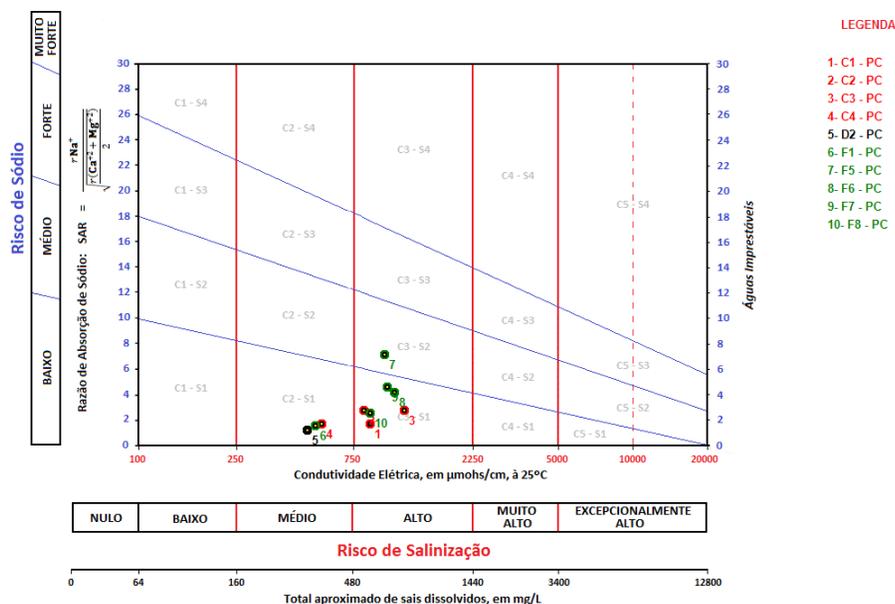


Figura 5 - Classificação da água subterrânea para aptidão agrícola (Período Chuvoso – PC).

Durante o período seco, 50% das amostras foram classificadas como C3S1, 10% C3S2 e 40% C2S1 (Tabela 6, Figura 5), configurando apenas a mudança da classificação da água do ponto 3 e 9 representado pelo poço C3 e F7, respectivamente, onde reduziram o seu risco de salinidade, fato não esperado já que no período seco as águas que sofreram evaporação estejam com seus sais mais concentrados, no entanto,

o fenômeno pode ser explicado pelo uso e ocupação do solo. Os poços C3 e F7, durante o período chuvoso, existiam cultivos agrícolas próximo à área, onde o solo havia sido preparado e adubado, potencializando o risco de alteração nas águas freáticas, por conta da aplicação de insumos agrícolas e modificação na sua estrutura natural.

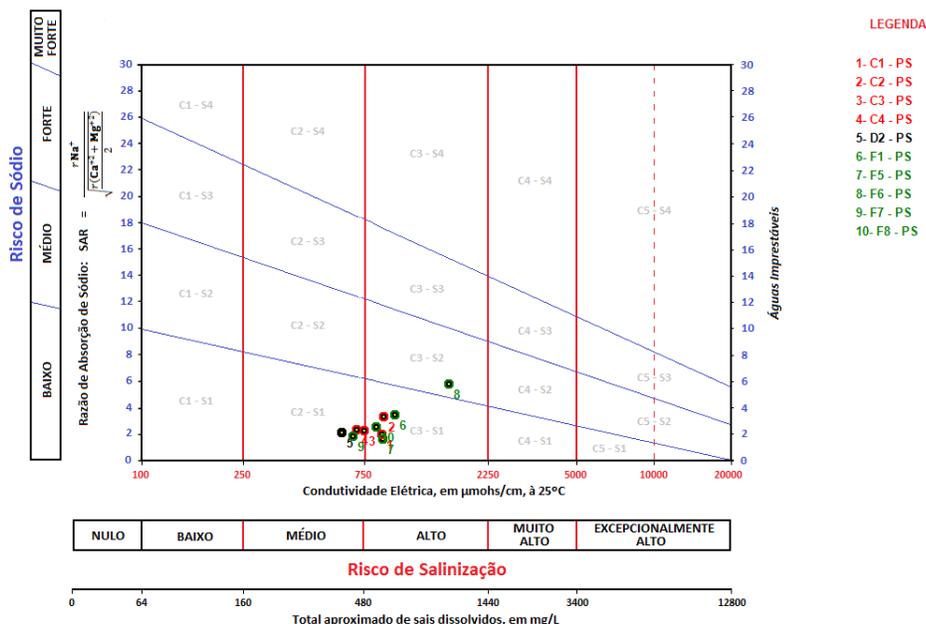


Figura 6 - Classificação da água subterrânea para aptidão agrícola (Período Seco - PS).

Analisando apenas os valores de CE das águas do Aquífero Aluvionar, todas as amostras são adequadas para irrigação de várias culturas (Tabela 5). No entanto, deve-se ressaltar que o solo da região é constituído por fácies arenosas e argilosas, o que dificulta a drenagem da água, podendo ocasionar a salinização do solo quando não há um manejo adequado da irrigação.

Tabela 5 – Tolerância de salinidade de algumas culturas comuns em regiões áridas e semiáridas. Fonte: Adaptado de Ayers e Westcot (1994).

Cultura	CEes(dS m ⁻¹)	Cultura	CEes(dS m ⁻¹)
Abacate	1,3	Feijão fava	1,6
Abobrinha	3,2	Laranja	1,7
Alface	1,3	Limão	1,7
Algodão	7,7	Melão	2,2
Amendoim	3,2	Milho	1,7
Arroz	3,0	Morango	1,0
Batata	1,7	Nabo	0,9
Batata doce	1,5	Pimentão	1,5
Beterraba	4,0	Rabanete	1,2
Brócolis	2,8	Repolho	1,8
Cana-de-açúcar	1,7	Soja	5,0
Cebola	1,2	Sorgo	4,0
Cenoura	1,0	Tomate	2,5

Couve flor	2,5	Pepino	2,5
Espinafre	2,0	Vagem	1,5
Feijão	1,0	Uva	1,5

No nordeste brasileiro é comum o plantio de culturas anuais em sequeiro (quando não há complemento de irrigação), como exemplos da tabela 5: abobrinha, folhosas em geral, feijão, melão, milho e pimentão, estas apresentam boa adaptação edáfica, considerando o tipo de solo e a qualidade da água disponível. Além das culturas anuais, no PICP a maior área está ocupada com plantio do coqueiro, que é muito tolerante à água e solo com elevado teor salino.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas do Aquífero Aluvionar do PICP possuem qualidade adequada para o uso na irrigação da maioria das culturas já implantadas, desde que haja manejo adequado da irrigação, haja vista as restrições quanto ao alto teor de ferro e sais dissolvidos.

Tanto no período seco como no chuvoso ocorreu uma predominância de águas classificadas como Cloretadas e Mistas.

As águas analisadas possuem médio a alto risco de salinidade e baixo risco de sodicidade, o que configura a necessidade de seguir o manejo adequado da irrigação, e da escolha de uma cultura de maior resistência a qualidade da água disponível, utilizando esses recursos de forma sustentável. É importante o

monitoramento sazonal da qualidade das águas aluvionares, para que essas sejam utilizadas adequadamente minimizando problemas de ordem tanto climática como antropogênicos em regiões de alta escassez hídrica.

5. REFERÊNCIAS

- Andrade, E. M.; Araújo, L. F. P.; Rosa, M. F.; Disney, W.; Alves, A. B. *Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada*. Engenharia Agrícola, v. 27, p. 683-690. 2007 Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162007000400011>
- APHA, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 22nd edition edited by E. W. Rice, R. B. Baird, A. D. Eaton and L. S. Clesceri. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF), Washington, D.C., USA. 2012
- Araújo A. P. B, Costa, R. N. T., Lacerda, C. F. & Gheyi, H. R. *Análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, CE* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.15, n.4, p.377-382, 2011 Campina Grande, PB, UAEA/UFCG – <http://www.agriambi.com.br>
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. *A qualidade da água na agricultura*. Tradução de GHEYI, H. J.; MEDEIROS, J. F. de; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1994. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29 Revisado I). Título original: Water quality for agriculture.
- BARBOZA, G.C.; HERNANDEZ, F.B.T.; FRANCO, R.A.M. ; DE MORAES, J.F.L.; SILVA, P.T.P. *Concentração de ferro na água para irrigação na microbacia do coqueiro, estado de São Paulo*. Anais. III WINOTEC - Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação, Fortaleza – CE, 2010.
- Duarte, S. N., Silva, E.F.F., Miranda, J. H., Medeiros, Costa, R. N. T. *Fundamentos de Drenagem Agrícola*, 356 p. Instituto nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, Fortaleza, CE, 2015.
- ERREBHI, M.; ROSEN, C.J.; GUPTA, S.C.; BIRONG, D.E. *Potato yield response and nitrate leaching as influenced by nitrogen management*. Agronomy Journal, Madison, v.90, p.10-15, 1998.
- Fernandes, F. B. P., Andrade, E. M. , Fontenele, S. DE B. , Meireles, A. C. M. , Ribeiro, J. A. *Análise de agrupamento como suporte à gestão qualitativa da água subterrânea no semiárido cearense*. Revista Agro@mbiente On-line, v. 4, n. 2, p. 86-95, jul-dez, 2010.
- GHEYI, H.R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C.F.de. *Manejo da Salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCTSal, 2010, 472p.
- Gomes, M. da C. R.; Mendonça, L. A. R.; Lima, M.G. da S. *Similaridade dos Atributos Físico-Químicos com uso de Análise Multivariada aplicada à gestão qualitativa de águas subterrâneas*. São Paulo, UNEP, Geociências, v. 36, n. 2. P. 325 – 337, 2017.
- Gomes, M. C. R.; Mendonça, L. A. R.; Lima, M. G. S.; Araújo, A. O. Hamilton, P.; Helsel, D. *Effects of Agriculture on Ground-Water Quality in five Regions of the United States*. Ground Water Vol. 33 No. 2: 217-226, 1995.
- Hamilton, P. A. Helsel, D. R. *Effects of Agriculture on Ground-Water Quality in Five Regions of the United States*, The Groundwater Association, Vol.33, Ed.2. 1995.
- Holanda, A. C.; Santos, R. V.; Souto, J. S.; Alves, A. R. 2007. *Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais*. Revista de Biologia e Ciências da Terra, v.7, n.1, p.39-50.
- MOBUS, G. Qualigraf: software para interpretação de análises físico-químicas, versão Beta. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – FUNCEME. Fortaleza, 2003. Disponível em: <http://www.funceme.br>. Acessado em: 02 de agosto de 2017.
- MOURA, I.B.M. *Estudos das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú no Trecho entre Quixeramobim e Banabuiú - Ceará, Brasil*. Tese (Doutorado em Geologia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. *Trickle irrigation for crop production: design, operation and management*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1986. 383 p
- Oliveira M. e Maia C. E. *Qualidade físico-química da água para irrigação em diferentes aquíferos na área sedimentar do estado do Rio Grande do Norte* R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.2, p.17-21, 1998.
- PALÁCIO, H.A. de Q. *Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará*. 2004. 96f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Pedrotti, A.; Chagas, R. M.; Ramos, V. C.; Nascimento PRATA, A. P.; Lucas, A. A. T.; Santos, P. B. *Causas e consequências do processo de salinização dos solos*. Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology, v.19, n.2, p.1308-1324, 2015.
- Peixoto, F. S.; Silveira, R. N. M. C. Cavalcante, I. N.; Araujo, D. T.; Oliveira R. M. S *Águas Subterrâneas na Gestão dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Curu – CE. Conexões, Ciências e Tecnologia*. Fortaleza/CE, v. 11, n. 1, p. 16 - 21, mar. 2017. DOI: 10.21439/conexoes.v11i1.1097
- RICHARDS, L. A. (ed.). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Washington: USDA, 1954.

-
- Sangoi, L., Ernani, P. R., Lech, V. A., Rampazzo, C. *Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes*. Ciência Rural, Santa Maria, v.33, n.1, jn-fev, p.65-70, 2003
- Silva, I.N.; Fontes, L. de O.; Tavella, L.B.; Oliveira, J.B. de; Oliveira, A.C.de. *Qualidade de água na irrigação. Agropecuária Científica no Semiárido*, Patos – PB, v.7, n.3, p.1-15, 2011.
- SANTOS, A. C. *Qualidade das águas subterrâneas*. In: *Hidrogeologia. Conceitos e Aplicação*. CPRM e LABHID. Rio de Janeiro. 3a edição e ampl. Feitosa, F.C.A... [et al.] 2008. Cap. 05. p.323-423.
- Silveira, R., N. M. C. Peixoto, F. S. Costa, R. N. T. Cavalcante, I. N. *Efeitos da Seca em Perímetros Irrigados no Semiárido Brasileiro*. *Anuário do Instituto de Geociências*, Vol. 41 - 2 / 2018 p. 268-275. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_2_268_275
- Silveira, R. N. M. C.; Costa, R. N. T.; Peixoto, F. S.; Sousa, H. G.; Cavalcante, I. N.; Oliveira, R. M. *Reservas hídricas subterrâneas e contribuição à gestão dos recursos hídricos em aluviões no semiárido*. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 35, n. 4, p.642-651, 2016
- SOUSA, I. C. F. Avaliação espacial de atributos físico-químicos de águas superficiais e subterrâneas da sub-bacia do Baixo Curu - Ceará Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2017.
-
- Recebido em: 28/11/2019
Aceito para publicação em: 12/08/2020