

QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS EM DOIS RESERVATÓRIOS NO ESTADO DO CEARÁ PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

M. M. S. Moura¹, H. A. de Q. Palácio², J. B. Brasil³, D. L. dos Santos⁴, G. B. R. Costa⁵

RESUMO: Objetivou-se com este estudo adotar o Índice de Qualidade de Água da Fundação Nacional de Saneamento (NSFWQI) e aplicá-lo de forma ajustada para atender aos requisitos de qualidade de água para irrigação. O estudo foi aplicado nos reservatórios Orós (1.940 hm³) e Trussu (268,8 hm³) localizados na sub-bacia do Alto Jaguaribe no estado do Ceará. Os maiores valores de condutividade elétrica (CE) e sólidos dissolvidos totais (SDT) do Orós em comparação com o Trussu, não apresentando restrição quanto ao uso para irrigação. As águas dos reservatórios, apresentaram valores de razão de adsorção de sódio (RAS) e CE que indicam restrições para uso na irrigação, quanto ao potencial dessas águas causarem problemas de infiltração nos solos. A utilização do NSFWQI, mostrou-se uma maneira eficaz de avaliar a qualidade das águas superficiais, sendo uma ferramenta útil para gestores de água no monitoramento em áreas onde a irrigação representa um uso final.

PALAVRAS-CHAVE: índice de qualidade de água, condutividade elétrica, sais

QUALITY OF SURFACE WATER IN TWO RESERVOIRS IN THE STATE OF CEARÁ FOR IRRIGATION PURPOSES

SUMMARY: It aimed at this study to adopt the water quality content of the National Sanitation Foundation (NSFWQI) and apply it in a manner adjusted to meet the water quality requirements for irrigation. The study was applied in the reservoirs Orós (1,940 hm³) and Trussu (268.8 hm³) located in the sub basin of Alto Jaguaribe in the state of Ceará. The highest values of electrical conductivity (EC) and total dissolved solids (TDS) of the Orós compared to the Trussu, no restriction on the use for irrigation. Reservoirs waters have tabled sodium adsorption ratio (SAR) values and EC indicating restrictions for use in irrigation, as to the potential of these waters to cause soil infiltration problems. The use of NSFWQI has proved an effective way to

¹ Graduando em Tecnologia em Irrigação e Drenagem, IFCE, Iguatu – Ceará, CEP 63500-000. Fone: (88) 996568183. E-mail: matheusmsm@hotmail.com.br.

² Doutora em Engenharia Agrícola, Professora do IFCE, Iguatu – Ceará.

³ Mestrando em Engenharia Agrícola, CCA/UFC, Fortaleza – Ceará.

⁴ Graduando em Tecnologia em Irrigação e Drenagem, IFCE, Iguatu – Ceará.

⁵ Graduando em Tecnologia em Irrigação e Drenagem, IFCE, Iguatu – Ceará.

evaluate the quality of surface waters, being a useful tool for water managers in monitoring areas where irrigation represents a final use.

KEYWORDS: water quality index, electric conductivity, salts

INTRODUÇÃO

A irrigação desempenha um papel fundamental na produção agrícola e no desenvolvimento agrícola em muitas regiões áridas e semiáridas, apesar das fontes de água de boa qualidade serem limitadas (Bezborodov et al., 2010). A competição pela água na agricultura, no uso doméstico, e na indústria se intensifica à medida que a população aumenta e os efeitos das mudanças climáticas se tornam mais pronunciados (Ayars et al., 2015). Deste modo, a utilização adequada e criteriosa dos recursos hídricos é primordial para o desenvolvimento de estudos na região semiárida (Araújo Neto et al., 2014).

O semiárido brasileiro é caracterizado pela distribuição irregular da precipitação pluviométrica no tempo e no espaço (Andrade et al., 2010) e elevadas taxas evapotranspiratórias, levando à prática da construção de reservatórios de captação e armazenamento das águas superficiais para abastecimento em geral (Ferreira et al., 2015). Estes reservatórios são destinados para os usos múltiplos, entre eles o consumo humano, a dessedentação animal, a irrigação e a piscicultura, sendo elementos fundamentais do desenvolvimento econômico e social da região (Lima, et al., 2012).

Em regiões onde a escassez de água sempre se fez presente, buscar soluções para um monitoramento e gerenciamento adequado desses recursos é essencial. Segundo Silva et al. (2013), a qualidade da água é um dos fatores que ocasionam efeito negativo no desenvolvimento das culturas e afetam a disponibilidade dos recursos hídricos. Para identificar ameaças à qualidade da água nos reservatórios existem diferentes Índices de Qualidade da Água (IQA), sendo os mais utilizados para fins de consumo humano, pois não há um índice bem estabelecido para a avaliação e uso dessas águas para fins de irrigação. Para se acompanhar a qualidade das águas é necessário o monitoramento, através de métodos simples, objetivos e interpretáveis que utilizem características peculiares de cada corpo hídrico (Araújo Neto et al., 2014).

A determinação de índices de qualidade da água facilita este entendimento, pois permite a agregação das muitas variáveis em um determinado valor numérico, o qual informa a classe qualitativa que está enquadrado o corpo hídrico para determinada finalidade (Zamberlan et al., 2013). A avaliação da qualidade da água através de índices é vantajosa em função de ser

facilmente assimilável, Araújo Neto et al. (2014), além de serem importantes na proteção dos recursos hídricos superficiais que são de interesse para as autoridades e decisões políticas (Misaghi et al., 2017).

Diante disso, objetivou-se com este trabalho aplicar um índice de qualidade da água para irrigação, baseado no NSFQI, em dois reservatórios da sub-bacia do Alto Jaguaribe, no estado do Ceará.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi aplicado nos reservatórios Orós (1.940 hm³) e Trussu (268,8 hm³) localizados na sub-bacia do Alto Jaguaribe, porção sul do estado do Ceará, Brasil (Figura 1). A área de drenagem da bacia do Alto Jaguaribe situa-se a montante do reservatório Orós, onde sua área de influência se estende por mais de 24.000 km², composto por 24 municípios com aproximadamente meio milhão de habitantes, caracterizado por uma ampla distribuição de reservatórios, variando de 2.500 m³ para 2 bilhões de m³ de capacidade. O Trussu possui área de drenagem de aproximadamente 1.600 km² que se estende nos municípios de Acopiara, Iguatu, Saboeiro e Jucás.

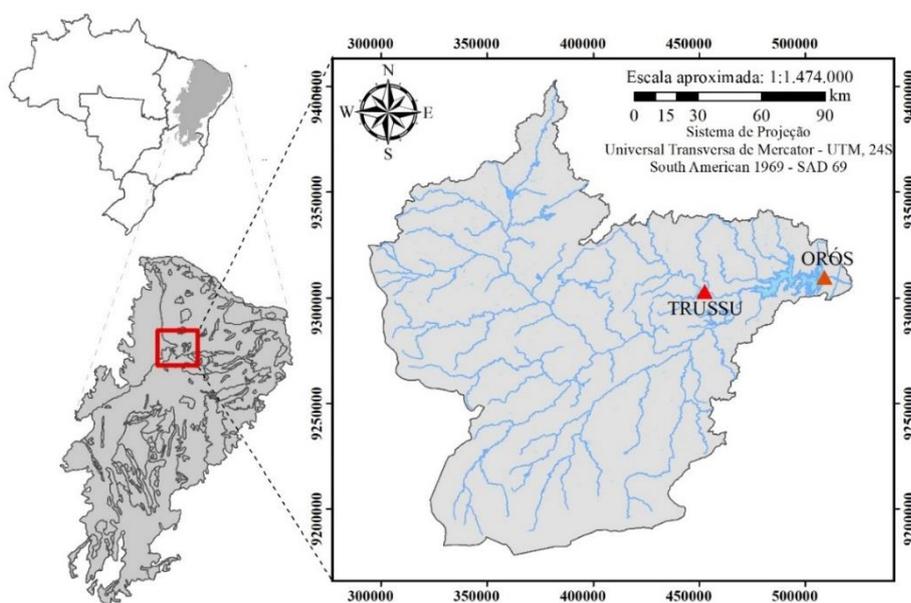


Figura 1. Localização dos reservatórios Orós e Trussu, sub-bacia do Alto Jaguaribe no estado do Ceará.

O clima da bacia hidrográfica é do tipo BSh' (semiárido quente), de acordo com a classificação climática de Köppen. A precipitação média anual na região é de 780 mm de acordo com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) entre os anos de

1974 a 2015, enquanto a evapotranspiração potencial da região oscila entre 1.500 e 2.000 mm ano⁻¹ e as temperaturas médias anuais registram valores de 23 a 27 °C (Araújo Neto et al., 2014).

Os dados de qualidade de água foram provenientes da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) referentes ao período de 2001 a 2014. O índice em estudo foi desenvolvido com base no índice de qualidade de água da Fundação Nacional de Saneamento (NSFWQI) existente. O índice NSFWQI foi proposto por Brown et al. (1970) e apoiado pela United States National Sanitation Foundation. Além da utilização deste índice existente, os resultados foram ajustados levando em consideração as recomendações da FAO 29 para as águas de irrigação (Misaghi et al., 2017).

Sete parâmetros importantes sobre a qualidade da água de irrigação, como sugerido na FAO 29 e atualmente não incluídos no NSFWQI foram incluídos: condutividade elétrica (CE), cloreto (Cl⁻), sódio (Na⁺), potencial hidrogeniônico (pH), bicarbonato (HCO₃⁻), sólidos dissolvidos totais (SDT) e razão de adsorção de sódio (RAS). Um fator de ponderação (Tabela 1) também foi considerado para cada um dos sete parâmetros do novo índice, seguindo a metodologia proposta por Misaghi et al. (2017).

Tabela 1. Fatores usados para calcular o índice NSFWQI

Parâmetros	RAS	Na ⁺	pH	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CE	SDT
Fator de peso	0,30	0,10	0,05	0,10	0,10	0,25	0,10

Adaptada de Misaghi et al. (2017).

O valor final do índice de qualidade da água de irrigação foi calculado a partir da (Equação 1), que é semelhante ao índice NSFWQI original (Brown et al., 1970). Como o NSFWQI original, o novo índice proposto varia de 0 a 100. A fim de fornecer uma descrição qualitativa do resultado do índice, foram desenvolvidas descrições simples para os dados do índice e estas são mostradas na (Tabela 2) (Misaghi et al., 2017).

$$\text{NSFWQI} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i I_i}{\sum W_i} \quad (1)$$

Em que,

n - número de parâmetros;

W - fator de peso, atribuído em função da sua importância para a explicação da variação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1;

I - valor do parâmetro, um número entre 0 e 100, em função de sua concentração ou medida.

Tabela 2. Qualidade da água para as classes do índice NSFQI

Classes do índice NSFQI	Categoria da qualidade da água
0 - 25	Muito ruim
26 - 50	Ruim
51 - 70	Média
71 - 90	Bom
91 - 100	Muito bom

Adaptada de Misaghi et al. (2017).

Para entender as diferenças dos parâmetros avaliados entre os reservatórios Orós e Trussu, aplicou-se o teste t de Wilcoxon para comparação de médias pareadas, com nível de significância de 5% de probabilidade. Embora existam vários métodos estatísticos para a análise dos dados, geralmente em estudos hidrometeorológicos a utilização de métodos não-paramétrico é empregado, em função dos dados não seguirem uma distribuição normal.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que o reservatório Orós apresentou melhor qualidade das águas em relação ao Trussu (Figura 2), com exceção o ano de 2008, mostrando que variabilidade temporal dos parâmetros avaliados influenciaram nos valores do índice dos reservatórios. Os valores do índice para as águas superficiais do Trussu variaram de ruim para média qualidade (Figura 2), mostraram média e baixa qualidade nos anos de 2008 e 2006, respectivamente. Para o reservatório Orós os índices variaram de médio para bom, com valores entre 53,7 e 75,1, sendo que este último valor é referente ao ano de 2014, enquadrado na classe de boa qualidade para irrigação.

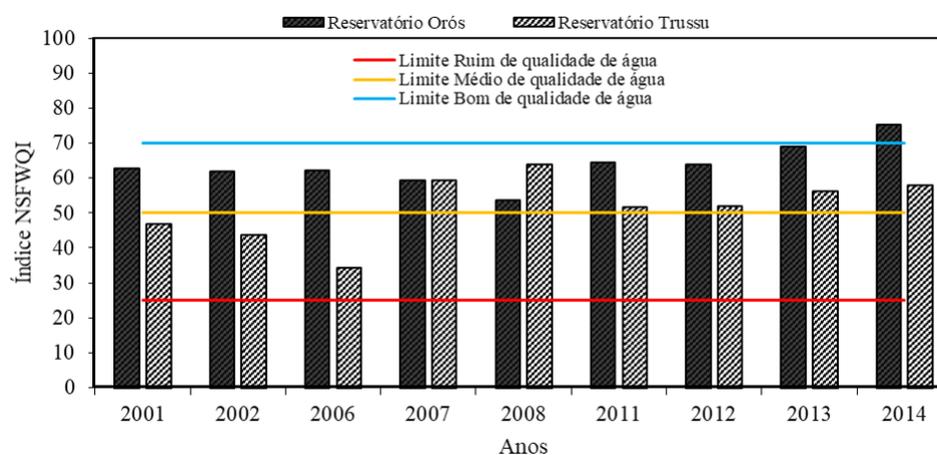


Figura 2. Valores propostos do índice NSFQI nos reservatórios Orós e Trussu durante o período de 2001 a 2014.

As águas superficiais dos reservatórios Orós e Trussu apresentaram condições semelhantes de qualidade na maioria dos indicadores de qualidade de água do índice NSFQWI para irrigação. Os valores médios dos parâmetros avaliados: RAS, pH, Na⁺, Cl⁻ e HCO₃⁻, não diferiram estatisticamente pelo teste t de Wilcoxon a nível de 5% significância (Tabela 3), pois apresentaram médias similares. No entanto, os valores médios das concentrações de CE e SDT, apresentam diferença estatística, com maiores valores para o reservatório Orós, 302 $\mu\text{S cm}^{-1}$ e 226,5 mg L^{-1} para a CE e SDT, respectivamente.

Tabela 3. Valores médios dos parâmetros para as águas superficiais dos reservatórios Orós e Trussu, sub-bacia do Alto Jaguaribe, Ceará

Parâmetros	Estatística	Reservatórios			
		Orós		Trussu	
RAS	Média \pm D.P.	2,17 \pm 0,90	a	2,09 \pm 1,47	a
	Mínimo	0,14		0,67	
	Máximo	3,61		5,88	
pH	Média \pm D.P.	8,29 \pm 0,48	a	8,00 \pm 0,43	a
	Mínimo	7,40		7,29	
	Máximo	9,30		8,70	
Na ⁺ (mmolc L^{-1})	Média \pm D.P.	1,57 \pm 0,68	a	1,37 \pm 0,62	a
	Mínimo	0,12		0,69	
	Máximo	2,87		2,87	
Cl ⁻ (mmolc L^{-1})	Média \pm D.P.	0,83 \pm 0,20	a	0,84 \pm 0,22	a
	Mínimo	0,34		0,31	
	Máximo	1,09		1,19	
HCO ₃ ⁻ (mmolc L^{-1})	Média \pm D.P.	1,82 \pm 0,71	a	1,81 \pm 0,69	a
	Mínimo	1,08		1,31	
	Máximo	4,51		4,47	
CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Média \pm D.P.	301,90 \pm 35,62	b	277,00 \pm 44,45	a
	Mínimo	240,00		157,40	
	Máximo	362,00		355,00	
SDT (mg L^{-1})	Média \pm D.P.	226,58 \pm 236,58	b	178,51 \pm 42,41	a
	Mínimo	41,00		65,00	
	Máximo	1.155,00		237,00	

*D.P.: Desvio padrão; Médias seguidas de letras minúsculas diferem entre si na linha pelo teste t de Wilcoxon, em nível de 5% de significância;

Conforme a tabela 3, os valores da CE e de SDT dos reservatórios não ultrapassaram o limite de concentração estabelecidos por Ayers & Westcot (1999) com valores das amostras menores que 700 $\mu\text{S cm}^{-1}$ para CE e 450 mg L^{-1} para SDT, assim apresentaram nenhuma restrição para uso dessas águas na irrigação. Essa baixa variação constatada nas águas superficiais se deve ao fato do poder de autodepuração dos mananciais, ou seja, a capacidade de se recuperar mesmo após receber grandes recargas (Santi et al., 2012). Apesar disso, as águas do Orós tiveram maiores concentrações de CE e SDT, embora tenha maiores volumes de água armazenado no período comparado com o Trussu. De acordo com os dados provenientes da

Cogerh (2017), o reservatório Orós é mais propício em receber efluentes que são lançados nos mananciais que ficam a seu montante.

Dos 24 municípios que compõe a bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, apenas 11 municípios possuem tratamentos dos efluentes domésticos, sendo que representa apenas 11% dos esgotos domésticos com tratamento (Ibge, 2008). Segundo Massoud (2012), a qualidade das águas reflete os efeitos agregados de vários processos ao longo do caminho percorrido pela mesma e é influenciada pelas características da bacia hidrográfica. Elevadas concentrações apresentadas de SDT classificadas como uso moderado ($400 - 2.000 \text{ mg L}^{-1}$) segundo Ayers & Westcot (1999), como o valor máximo de $1.155,0 \text{ mg L}^{-1}$ em uma das amostras para SDT no Orós (Tabela 3), evidenciam a existência da influência de agentes externos, como local da coleta ou provavelmente associado à drenagem terrestre relacionado com o manejo do solo na região estudada (Lucas et al., 2014).

Os valores médios da RAS para os reservatórios encontram-se em baixas concentrações, entre 0 e 3 para RAS. Essas médias associadas aos valores de CE, com valores das amostras entre $200 \text{ a } 700 \mu\text{S cm}^{-1}$, apresentaram moderado grau de restrição dessas águas para uso na irrigação, de acordo a classificação proposta por Ayers & Westcot (1999). Valores máximos foram encontrados em algumas amostras do reservatório Trussu, como a amostra que apresentou maior valor da RAS de 5,8. Segundo Ayers & Westcot (1999), as águas do reservatório Trussu neste período apresentaram severa restrição de uso para fins de irrigação, podendo causar problemas de sodicidade nos solos. A taxa de infiltração dos solos geralmente aumenta com o aumento da salinidade e diminui com a diminuição da salinidade ou o aumento do teor de sódio em relação ao cálcio e ao magnésio (Ayers & Westcot, 1999). Portanto, os dois fatores, CE e RAS, devem ser considerados em conjunto para uma avaliação quanto ao risco de as águas provocarem problemas de infiltração nos solos.

Os valores médios de pH dos reservatórios (Tabela 3) se encontraram dentro da faixa aceitável entre 6,5 e 8,4 para irrigação, de acordo com Ayers & Westcot (1999). Porém, as águas tiveram valores ligeiramente alcalinas, conforme Ceará (2009), pois a sub-bacia do Alto Jaguaribe é constituída de rochas do embasamento cristalino pré-cambriano, representado por gnaisses e migmatitos diversos, quartzitos e metacalcários, associados a rochas plutônicas e metaplutônicas de composição predominantemente granítica. Os metacalcários liberam carbonatos, conferindo uma condição alcalina ao reservatório (Ferreira et al., 2015).

Para os problemas potenciais de íons específicos, os valores médios de Na^+ e Cl^- para ambos reservatórios, se classificaram com nenhuma restrição para uso, sendo que as águas que apresentarem para o cloreto menores que $4 \text{ mmol} \text{ L}^{-1}$ e para o sódio menores que $3 \text{ mmol} \text{ L}^{-1}$,

não apresentaram risco de toxidez segundo Ayers & Westcot (1999). Diferente das médias das concentrações de HCO_3^- , aproximadamente $1,80 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$ nos reservatórios Trussu e Orós, que se encontraram na faixa moderada ($1,5 - 8,5 \text{ mmol}_e \text{ L}^{-1}$) (Ayers & Westcot, 1999). De acordo com Ayers e Westcot (1999), elevados teores de Cl^- , Na^+ e HCO_3^- , podem ser tóxicos para diversas culturas, e que a irrigação por aspersão pode ocasionar problemas de queima das folhas e consequentes perdas de produtividade.

CONCLUSÕES

De acordo com o índice NSFQI, as águas superficiais dos reservatórios Orós e Trussu apresentaram condições semelhantes de qualidade de água para uso na irrigação. Quanto aos valores de CE e de SDT dos reservatórios não ultrapassaram o limite de concentração estabelecidos por Ayers & Westcot (1999), sendo assim, não apresentaram nenhuma restrição para uso dessas águas na irrigação.

A utilização do índice NSFQI, mostrou-se uma maneira eficaz de avaliar a qualidade das águas superficiais, sendo uma ferramenta útil para gestores de água no monitoramento em áreas onde a irrigação representa um uso final.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a FUNCAP pelo apoio financeiro e pelas bolsas de produtividade e de iniciação científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. O semiárido cearense e suas águas. In: ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R. de (Ed.). O Semiárido e o manejo dos recursos naturais. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2010. p. 56-80.

ARAÚJO NETO, J. R.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; GUERREIRO, M. J. S. PALÁCIO, H. A. Q. Proposta de índice da salinidade das águas superficiais de reservatórios do Ceará, Brasil. Revista Agro@mbiente On-line, V.8, n.2, p.184-193, 2014.

AYARS, J. E.; FULTON, A.; TAYLOR, B. Subsurface drip irrigation in California—Here to stay?. Agricultural Water Management, V.157, p. 39-47, 2015.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. A qualidade da água na agricultura. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.

BEZBORODOV, G. A.; SHADMANOV, D. K.; MIRHASHIMOV, R. T.; YULDASHEV, T.; QURESHI, A. S.; NOBLE, A. D.; QADIR, M. Mulching and water quality effects on soil salinity and sodicity dynamics and cotton productivity in Central Asia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, V.138, n.1, p. 95-102, 2010.

BROWN, R. M.; MCCLELLAND, N. I.; DEININGER, R. A.; TOZER, R. G. A water quality index - do we dare. *Water Sew.* p. 339-343, 1970.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. Caderno regional da sub-bacia do Alto Jaguaribe/Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. Fortaleza: INESP, 2009. 119p.

FERREIRA, K. C. D.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SILVA, G. S. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. *Revista Ciência Agrônômica*, V.46, n.2, p. 277-286, 2015.

IBGE. Pesquisa nacional de saneamento básico. Rio de Janeiro: Coordenação de População e Indicadores Sociais, 2008. 218p.

LIMA, S. M. S.; BARBOSA, L. G.; CRUZ, P. S.; WANDERLEY, S. L.; CEBALLOS, B. S. O. Dinâmica funcional de reservatórios de usos múltiplos da região semiárida/Paraíba-Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, V.7, n.4, p. 18-25, 2012.

LUCAS, A. A. T.; MOURA, A. S. A.; NETTO, A. O. A.; FACCIOLI, G. G.; SOUSA, I. F. Qualidade da água no Riacho Jacaré, Sergipe Brasil usada para irrigação. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, V.8, n.2, p. 98-105, 2014.

MASSOUD, M. A. Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*, V.184, n.7, p. 4151-4160, 2012.

MISAGHI, F.; DELGOSHA, F.; RAZZAGHMANESH, M.; MYERS, B. Introducing a water quality index for assessing water for irrigation purposes: A case study of the Ghezel Ozan River. *Science of The Total Environment*, V.589, p. 107-116, 2017.

SANTI, G. M.; FURTADO, C. M.; MENEZES, R. S.; KEPPELER, E. C. Variabilidade espacial de parâmetros e indicadores de qualidade da água na sub-bacia hidrográfica do igarapé São Francisco, Rio Branco, Acre, Brasil. *Ecologia Aplicada*, V.11, n.1, p.23-31, 2012.

SILVA, M. V. T.; LIMA, R. M. S.; MEDEIROS, J. F.; MEDEIROS, A. M. A.; SILVA, N. K. C.; OLIVEIRA, F. L. Evolução da salinidade do solo em função de diferentes doses de nitrogênio e salinidade da água de irrigação. *Agropecuária Científica no Semiárido*, V.9, n.2, p. 126-136, 2013.

ZAMBERLAN, J. F.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; FERRAZ, R. C.; PINTO, L. M. Índices sazonais de qualidade da água de irrigação via análise multivariada na região central do Rio Grande do Sul. *Irriga*, V.18, n.3, p. 376-386, 2013.