

USO DA TERRA E INFLUÊNCIA NO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA: O CASO DO VALE DO RIO TRUSSU

ELDIR BANDEIRA DA SILVA¹; JOSÉ RIBEIRO DE ARAÚJO NETO²; HELBA ARAÚJO DE QUEIROZ PALÁCIO²; EUNICE MAIA DE ANDRADE¹ E YARA RODRIGUES ARAÚJO²

1 Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará-UFC, Campus do PICI, Bloco 804, Fortaleza-CE, Brasil. E-mail: eldir_2005@hotmail.com; eandrade.ufc@gmail.com.

2 Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará-IFCE, Campus Iguatu, rodovia Iguatu-Várzea Alegre, Km 05, s/n, Iguatu-CE, Brasil. E-mail: juniorifcelabas@gmail.com; helbaraujo23@yahoo.com.br; yaraaraujo20@hotmail.com.

1 RESUMO

Com o objetivo de avaliar a influência do uso e ocupação da terra no índice de qualidade de água (IQA) nos corpos hídricos superficiais e subterrâneas no vale perenizado do rio Trussu, Ceará, Brasil, investigou-se dados de qualidade de água em dois períodos distintos. O primeiro foi de set/2002 a fev/2004 e o segundo de abr/2013 a jul/2015. Foram realizadas 22 coletas de água em 9 estações amostrais, 5 superficiais e 4 subterrâneas. Foram consideradas as mesmas estações nos dois períodos, monitorando-se 6 atributos de qualidade de água, totalizando 2376 análises. A avaliação da qualidade das águas foi realizada com o emprego do IQA e diagrama de caixa. As mudanças no uso e ocupação da terra foram nítidas, passando a caatinga densa de 38,7% de ocupação da área de estudo em 2003 para 11,2% em 2013. Não foi verificada diferença estatística ($P < 0,05$) da qualidade das águas superficiais e subterrâneas no tempo. Porém, as águas subterrâneas diferiram estatisticamente entre os pontos. As águas superficiais foram classificadas como boas segundo o IQA, já as águas subterrâneas, observando o mesmo índice, como regulares e ruins. Esses resultados evidenciam o crescimento das práticas agrícolas na região, com avanço significativo da área antropizada sobre os recursos naturais.

Palavras-chave: cobertura do solo, águas superficiais e subterrâneas, geoprocessamento.

SILVA, E. B. DA; ARAÚJO NETO, J. R. DE; PALÁCIO, H. A. DE Q.; ANDRADE, E. M. DE E ARAÚJO, Y. R.

LAND USE AND INFLUENCE ON THE WATER QUALITY INDEX: THE CASE OF TRUSSU RIVER VALLEY

2 ABSTRACT

In order to evaluate the influence of land use and occupation on surface and groundwater levels in Trussu river perennial valley, Ceará, Brazil, we aimed at investigating data of the water quality in two distinct years. The first one was from Sep / 2002 to Feb / 2004 and the second from Apr/2013 to Jul/2015. Twenty-two water samples were collected in 9 sampling stations, 5 from surface and 4 from underground. The same stations were considered in the two periods, monitoring 6 attributes of water quality, totaling 2376 analyzes. The water quality assessment

was performed using the water quality index (IQA, in Portuguese) and cash flow diagram. The changes in land use and occupation were sharp, with the dense tropical dry forests (Caatinga) moving from 38.7% occupancy of the study area in 2003 to 11.2% in 2013. There was no significant difference ($P < 0.05$) in surface and groundwater quality over time. However, groundwater differed statistically in the two points. The IQA of surface waters was classified as good, and of groundwater as regular and bad. These results show the growth of agricultural practices in the region, with significant advance of the anthropized area on natural resources.

Keywords: groundcovers, surface water and groundwater, geoprocessing.

3 INTRODUÇÃO

A existência do homem depende fundamentalmente da água, sendo necessário a mesma ser de boa qualidade. Com isso, o aumento populacional em conjunto com o desenvolvimento socioeconômico traz consigo o crescimento da procura por água, que depende fundamentalmente da quantidade e qualidade deste recurso (BUENO, GALBIATTI, E BORGES, 2005). Neste contexto, no semiárido brasileiro, devido às características de distribuição irregular da precipitação pluviométrica no tempo e no espaço e às altas taxas de evaporação, optou-se pela prática da construção de reservatórios de captação e de armazenamento das águas superficiais para abastecimento em geral (FERREIRA et al., 2015).

A utilização da água para um determinado fim não deve comprometer suas múltiplas finalidades. Logo, a análise da qualidade das águas se torna essencial para uma correta utilização (ELOI; BARRETO, 2011; COLETTI et al., 2010). A deterioração da qualidade da água afeta diretamente os seres vivos, e é causada pela poluição generalizada. Nos últimos anos os corpos hídricos estão sendo modificados por ações antrópicas, resultando em prejuízo na qualidade e disponibilidade de água pelos mesmos (HELENA et al., 2000; BRAGA; PORTO; TUCCI, 2006; TRINDADE, FURLANETTO, E SILVA, 2009). Estes prejuízos estão relacionados à degradação dos meios naturais que, na

maioria das vezes, se torna irreversível a muitos ecossistemas (SILVA, GALVÍNIO E ALMEIDA, 2010).

Alterações ocorridas ao longo do tempo no uso e ocupação do solo podem acarretar inúmeros problemas ambientais e econômicos, devido à redução não somente da vegetação original da área, mas também da qualidade e disponibilidade hídrica. Vanzela, Hernandez e Franco (2010) alertam que caso não haja um planejamento hidro agrícola, a bacia pode sofrer recargas de sedimentos e poluentes.

Uma alternativa bastante viável para acompanhamento de possíveis deteriorações na qualidade das águas, ao longo do tempo, numa bacia hidrográfica são os índices de qualidade de água. Índices de monitoramento têm como objetivo o acompanhamento e interpretação de uma série de dados para facilitar a compreensão pelos usuários, podendo até classificar em níveis ou classes de qualidade de água (TOLEDO; NICOLELLA, 2002. LOPES et al., 2008; COLETTI et al., 2010).

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a influência do uso e ocupação da terra no índice de qualidade de água (IQA) nos corpos hídricos superficiais e subterrâneos do vale perenizado do rio Trussu, Ceará, Brasil, investigando dados de qualidade de água em dois períodos distintos.

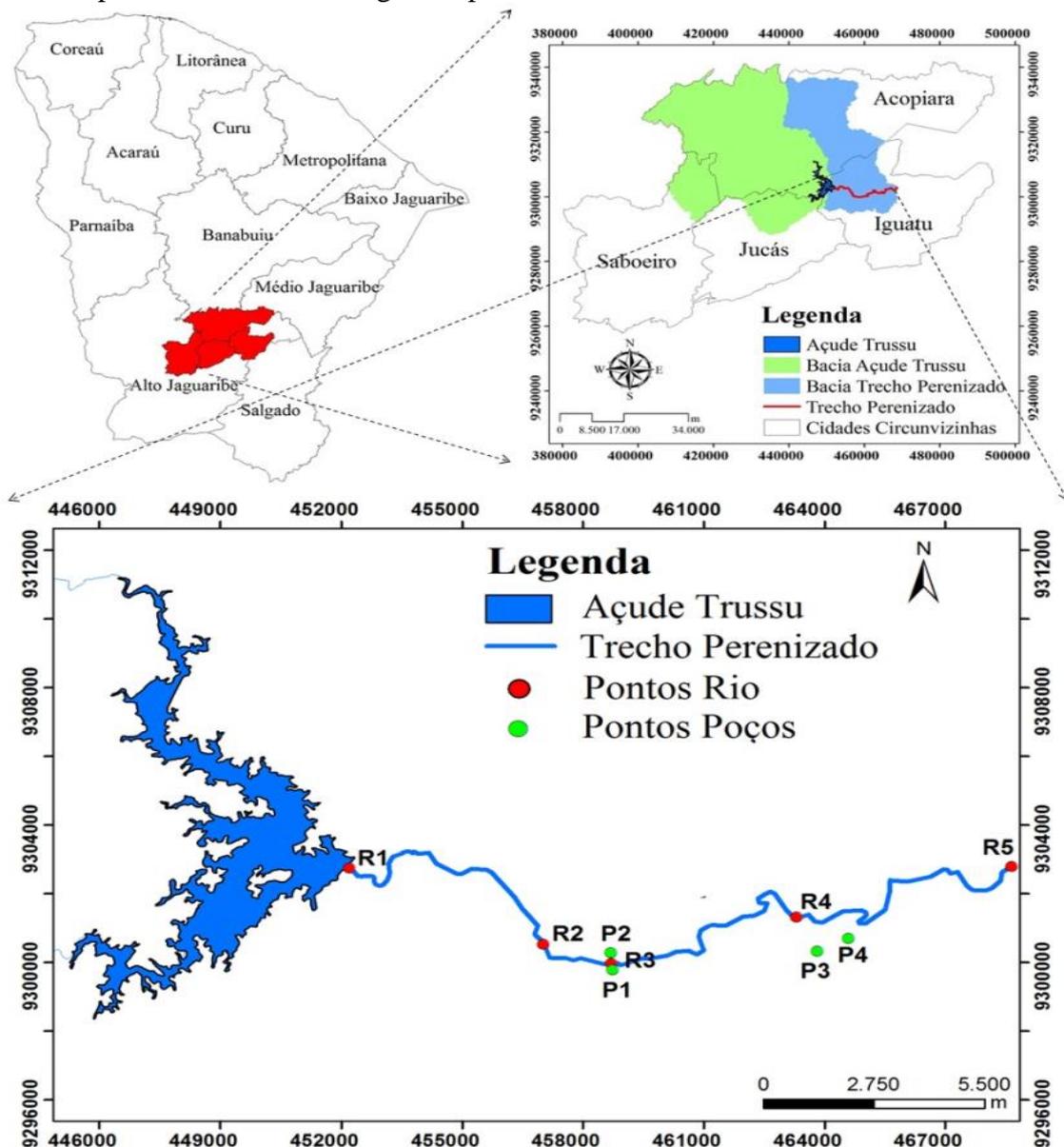
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área

A área de estudo encontra-se à jusante da barragem Roberto Costa até a foz do Rio Trussu na margem esquerda do Rio Jaguaribe, numa faixa de 24 quilômetros de extensão de rio perenizado artificialmente (Figura 1). O clima da região é do tipo

BSw“h” (Semiárido quente) de acordo com a classificação climática de Köppen. A temperatura média da região é de 27 °C, com insolação de 2985 h ano⁻¹. A média histórica da precipitação é 977 mm ano⁻¹, e umidade relativa do ar de 63% (INMET, 2016).

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do açude Trussu e do trecho perenizado, bem como os pontos de coletas nas águas superficiais e subterrâneas.

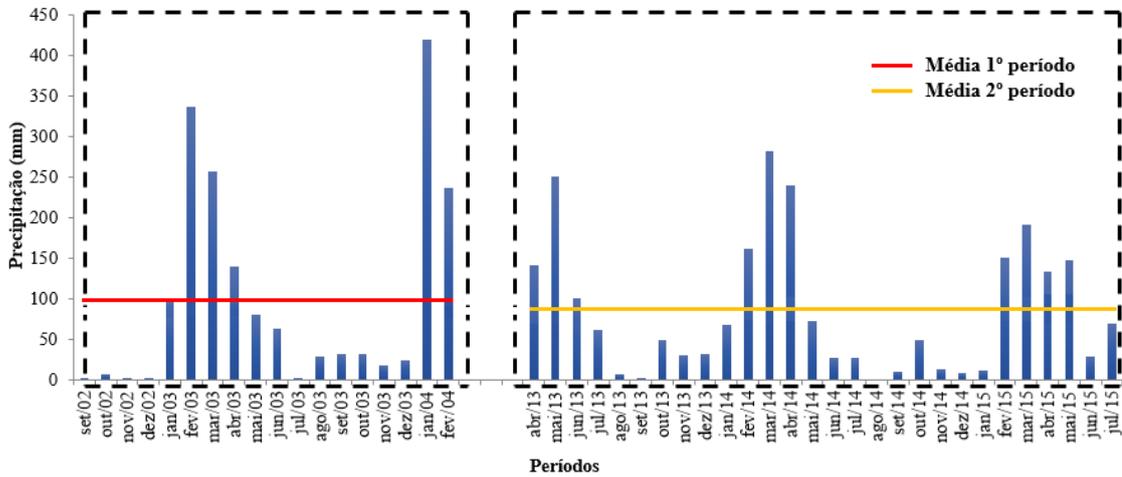


Durante os dois períodos de monitoramento, as chuvas se concentraram nos primeiros seis meses de cada ano

(Figura 2), fator característico no semiárido brasileiro. A menor média da precipitação pluviométrica no segundo período é devido

a ocorrência do fenômeno seca que vem sendo presente no nordeste brasileiro desde o ano de 2012.

Figura 2. Precipitação média e mensal dos meses de coleta nos dois períodos de monitoramento.



4.2 Monitoramento

As campanhas de coletas de água foram realizadas em 9 estações amostrais distribuídas ao longo do trecho perenizado do vale rio Trussu. Cinco estações são representativas das águas superficiais (R) e quatro das águas subterrâneas (P) em poços alocados nas áreas de sedimentos aluviais do trecho perenizado. As coletas foram realizadas em dois períodos distintos de monitoramento. Durante o primeiro período as coletas foram realizadas por Palácio (2004) com frequência mensal, entre os meses de setembro de 2002 a fevereiro de 2004. No segundo período de monitoramento as coletas foram realizadas entre os meses de abril de 2013 a julho de 2015, em caráter bimestral, totalizando 12 coletas amostrais.

4.3 Uso e Ocupação da Terra

Para classificação do uso e ocupação do solo, foram utilizados dados provenientes do trabalho desenvolvido por Maia (2015) na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, Ceará, na qual a bacia do Trussu encontra-se aninhada. Para esta classificação, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 – TM e Landsat 8 – OLI, que contemplam o primeiro e segundo período, respectivamente. Na etapa de processamento e análise das imagens, tomou-se como ferramenta o software ArcMap 9.3. Dessa forma as classes de uso e cobertura determinadas na bacia hidrográfica do açude Trussu e do trecho perenizado do rio Trussu foram: água, área antropizada, caatinga densa, caatinga rala.

4.4 Índice de Qualidade de Água

A qualidade das águas para irrigação em ambos os períodos foi classificada pelo IQA proposto por Palácio (2004), o qual é expresso pela equação 1:

$$IQA = \sum_{i=1}^n qi * wi \tag{01}$$

Onde,

IQA - índice de qualidade de água (adimensional);
 q_i - qualidade relativa da i -ésima variável;
 w_i - peso relativo da i -ésima variável;
 i - número de ordem da variável.

O índice emprega os seis parâmetros considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas para irrigação: Sódio (Na^+), Cloreto (Cl^-), Nitrato (NO_3^-), Potencial Hidrogeniônico (pH),

Condutividade Elétrica (CE) e Razão de Adsorção de Sódio (RAS).

Para cálculo de q_i foram seguidas as recomendações de qualidade de água para o consumo humano do Brasil (1986, 2000) (Tabela 1) (Equação 2).

Tabela 1. Limites das variáveis utilizadas no IQA para cálculo do q_i

q_i	pH	CE	Na ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	RAS
		(dS m ⁻¹)	(mmol _c L ⁻¹)	(mmol _c L ⁻¹)	(mg L ⁻¹)	
80 – 100	7,0 - 7,5	0,0 - 0,3	0,0 - 2,0	0,0 - 0,5	0,0 - 2,5	0,0 - 1,5
60 – 80	5,5 - 7,0 ou 7,5 - 8,5	0,3 - 0,5	2,0 - 5,0	0,5 - 1,5	2,5 - 5,0	1,5 - 3,0
40 – 60	4,5 - 5,5 ou 8,5 - 9,0	0,5 - 0,75	5,0 - 8,5	1,5 - 3,0	5,0 - 10,0	3,0 - 5,0
20 – 40	4,0 - 4,5 ou 9,0 - 9,5	0,75 - 3,0	8,5 - 9,0	3,0 - 7,0	10,0 - 30,0	5,0 - 8,0
0 – 20	< 4,0 ou > 9,5	> 3,0	> 9,0	> 7,0	> 30,0	> 8,0

Fonte: Brasil (1986,2000).

$$q_i = q_{i\max} - \frac{(X_{ij} - X_{\text{inf}}) * q_{i\text{amp}}}{X_{\text{amp}}} \quad (2)$$

Onde:

q_i max: valor máximo de q_i para a classe

X_{ij} : valor observado para a célula ij

X_{inf} : limite inferior da classe a que pertence X_{ij}

q_i amp: amplitude de classe

X_{amp} : amplitude da classe a que pertence X_{ij}

Para atribuição dos pesos (w_i) (Tabela 2) de cada parâmetro da qualidade de água foram utilizados os pesos gerados por Palácio (2004) em uma Análise de

Componente Principal em função da explicabilidade de cada componente, de forma que o somatório dos w_i ponderados seja igual a 1.

Tabela 2. Valores de pesos relativos para cada parâmetro avaliado na qualidade de água da bacia do açude Trussu.

w_i CE	w_i pH	w_i RAS	w_i Na ⁺	w_i Cl ⁻	w_i NO ₃ ⁻
0,218	0,07	0,217	0,219	0,215	0,061

Fonte: Palácio (2004).

A classificação da qualidade de água foi desenvolvida por Palácio (2004) e aplicada para interpretação do Índice de

Qualidade de Água para irrigação (Tabela 3).

Tabela 3. Faixas de qualidade da água para o IQA.

Valor numérico do IQA	Classificação da qualidade
0 - 30	Inadequada
30 - 50	Ruim
50 - 70	Regular
70 - 90	Boa
90 - 100	Ótima

Fonte: Palácio (2004).

4.5 Análise Estatística dos Dados

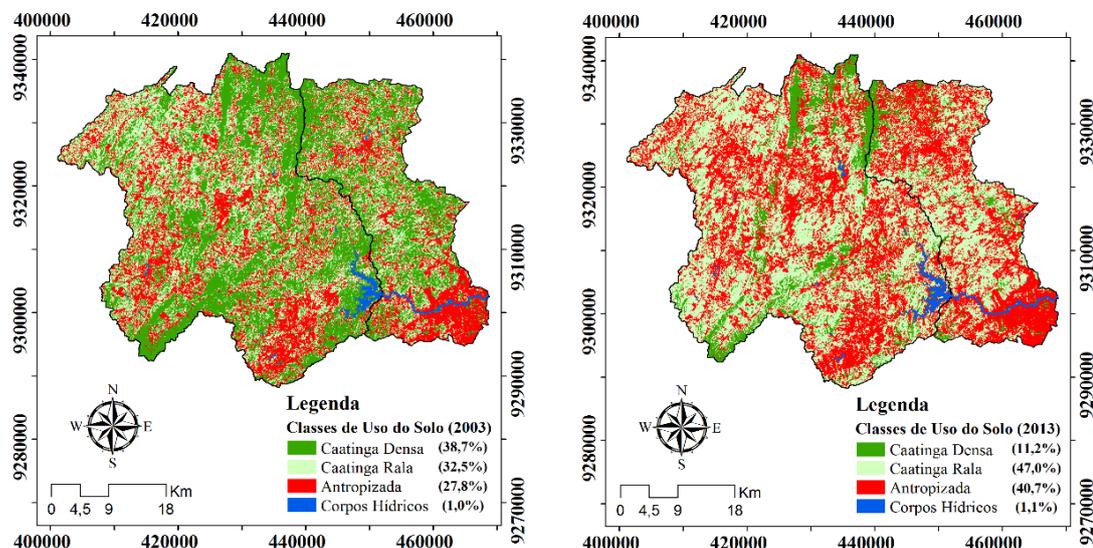
Foram plotados gráficos de caixa do tipo “boxplot” dos valores obtidos de cada parâmetro para visualizar a variância e distribuição dos dados, entre os períodos de 2002 a 2004 e 2013 a 2015. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste t (Student) para fazer a comparação dos dois períodos de monitoramento. Todas as comparações foram realizadas utilizando-se um nível de significância de 5% no programa-SPSS 16.0. for Windows.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Uso e Ocupação do Solo

O aumento das áreas ocupadas por uso do solo decorrentes de ações antrópicas sobre a parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu nesse período de 10 anos (Figura 3) se expressa pela expansão dos limites agropecuários e de caatinga rala com perdas de 43.720 hectares (27,5% em relação a toda a área da bacia hidrográfica) da caatinga densa.

Figura 3. Mapas de classificação do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do açude Trussu e trecho perenizado do rio para os dois períodos estudados: (a) 2003 e (b) 2013.



Fonte: Maia (2015).

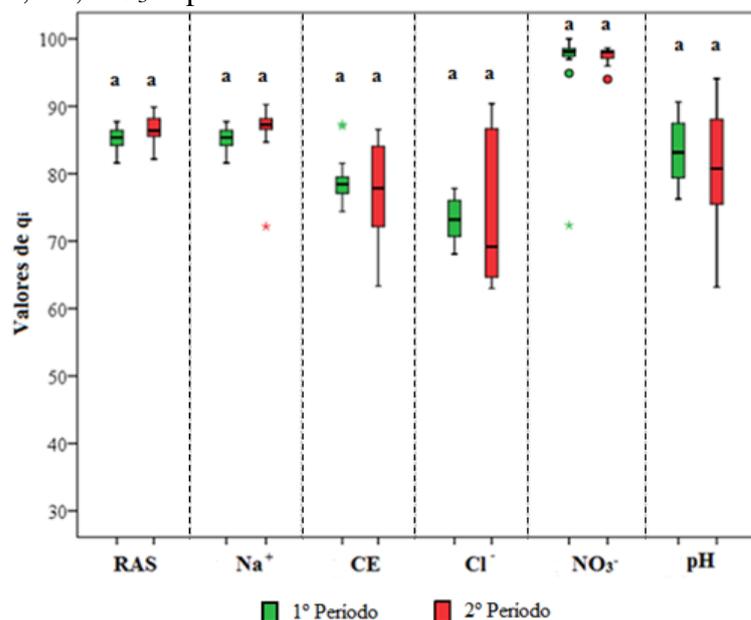
No ano de 2003 predominavam, na área, as classes de caatinga densa (38,7%), caatinga rala (32,5%) e área antropizada (27,8%). Na transição entre os mapas de 2003 e 2013, a área antropizada passou a responder pela segunda maior ocupação na área, com 40,7%, sendo superada apenas pela caatinga rala, com 47,0%, correspondendo a um total de 87,7% da ocupação total dos solos da bacia.

A substituição progressiva das áreas de vegetação de caatinga por áreas antropizadas com pastagem-agricultura também foram observadas por Coelho et al. (2014) em uma bacia hidrográfica no semiárido brasileiro. Com relação à pressão humana exercida em áreas de Caatinga no semiárido, Silva et al. (2014) e Trindade, Furlanetto e Silva (2009) afirmam que práticas como a retirada da vegetação natural afetam diretamente os recursos naturais do meio.

5.2 Águas Superficiais

A variabilidade dos pesos q_i analisados nas águas superficiais do rio perenizado de cada parâmetro do IQA estudado se dá na ordem inversa da concentração, ou seja, na medida em que a concentração aumenta os valores de q_i diminuem (Figura 4). Observa-se que houve menor variação nos valores de q_i no primeiro período de estudo (2002-2004) em quase todos os parâmetros, com exceção do pH, que apresentou valores de q_i variando entre 75 a 88. No segundo período, parâmetros como CE, Cl⁻ e pH apresentaram grandes variações, ocorridas principalmente pelas variações climáticas da região e devido ao aumento da área antropizada pelos 10 anos após o primeiro monitoramento (Figura 3). Estas variações, no que se refere a longos períodos de estiagem e precipitações abaixo da média, acarretam aumento da concentração dos sais nas águas (LOBATO et al., 2008).

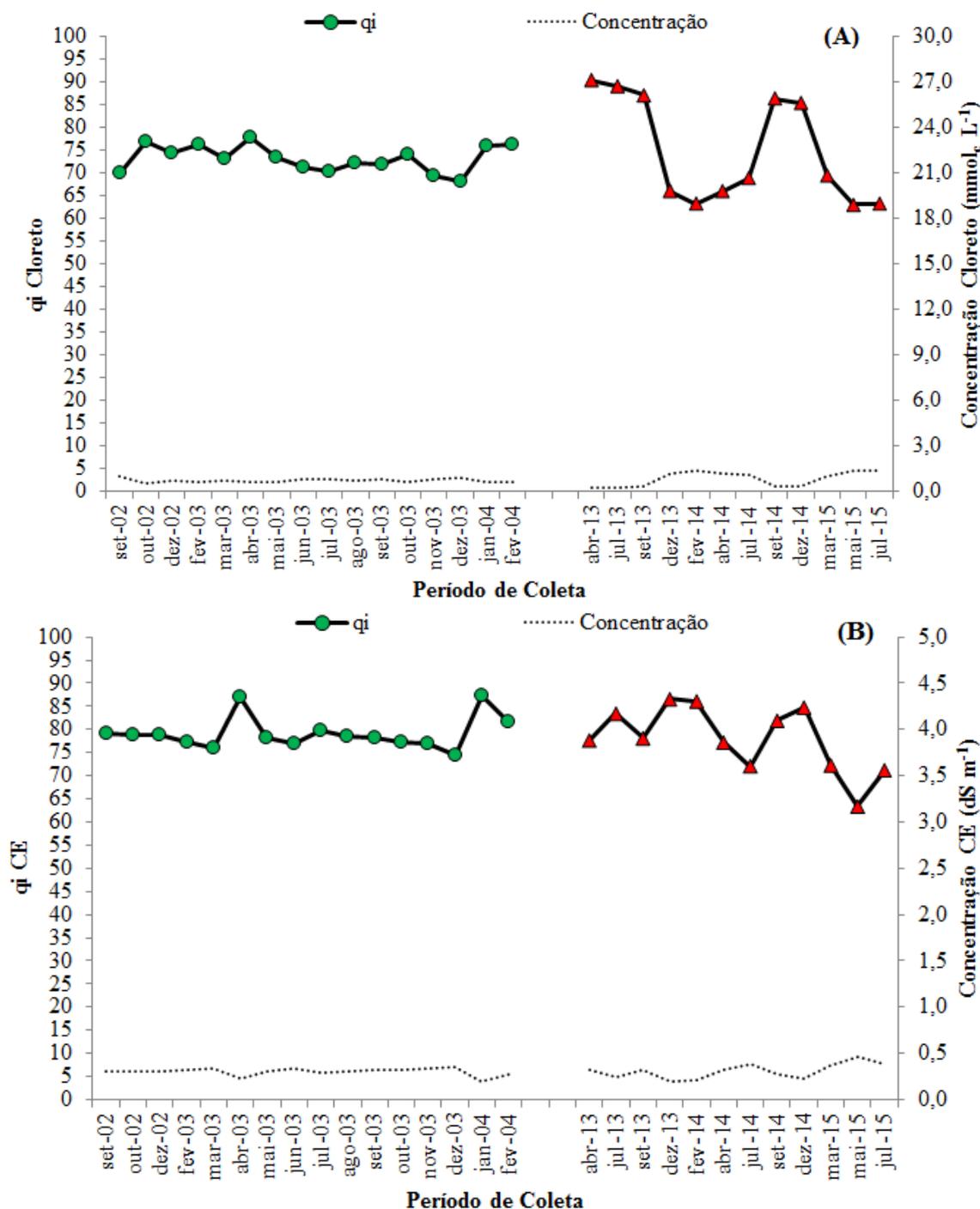
Figura 4. Variabilidade dos pesos q_i nas águas superficiais do rio perenizado nos dois períodos distintos de monitoramento para todos os parâmetros que contemplam o IQA: RAS, Na^+ , CE, Cl^- , NO_3^- e pH.



A variabilidade dos valores de q_i para a CE das águas no rio perenizado, no primeiro período, se manteve na faixa de 75 a 87, enquanto que no segundo período variaram de 63 a 87 (Figura 5). Esses picos de oscilações no primeiro período ocorreram por eventos de precipitações acima de média, e com isso houve uma diluição dos sais. Já os picos de oscilações no segundo período de monitoramento também ocorreram nos meses chuvosos, contudo, diferentemente do primeiro período, esses eventos de precipitação além de não terem diluído os sais já existentes,

incrementaram os sais nas águas superficiais oriundas da perenização realizada pelo açude. Isso, devido à anos sucessivos de secas, que segundo Olímpio (2013) são eventos que desde o início do processo de formação do território cearense, vêm causando impacto nos âmbitos ambientais, sociais e econômicos. Essa tendência à menores valores de q_i para a CE no segundo período de monitoramento pode ser atribuída ao crescimento da área agrícola e urbana (HARDING, CLAASSEN, E EVERS, 2006) ofertada pela demanda hídrica.

Figura 5. Variação temporal da concentração e valores médios de q_i do parâmetro Cl^- (A) e da CE (B) para o primeiro e segundo período de monitoramento nas águas superficiais do rio perenizado do Trussu.



O aumento das áreas antropizadas ao longo da bacia no segundo período causou incremento de sais, em geral em decorrência do uso de fertilizantes e efluentes domésticos provenientes das comunidades às margens do rio perenizado.

Para Freitas e Porto (2006), o modo como ocorre o crescimento demográfico e a apropriação dos recursos naturais influenciam diretamente na interface saúde-ambiente. No entanto, percebe-se que a condutividade elétrica em ambos os

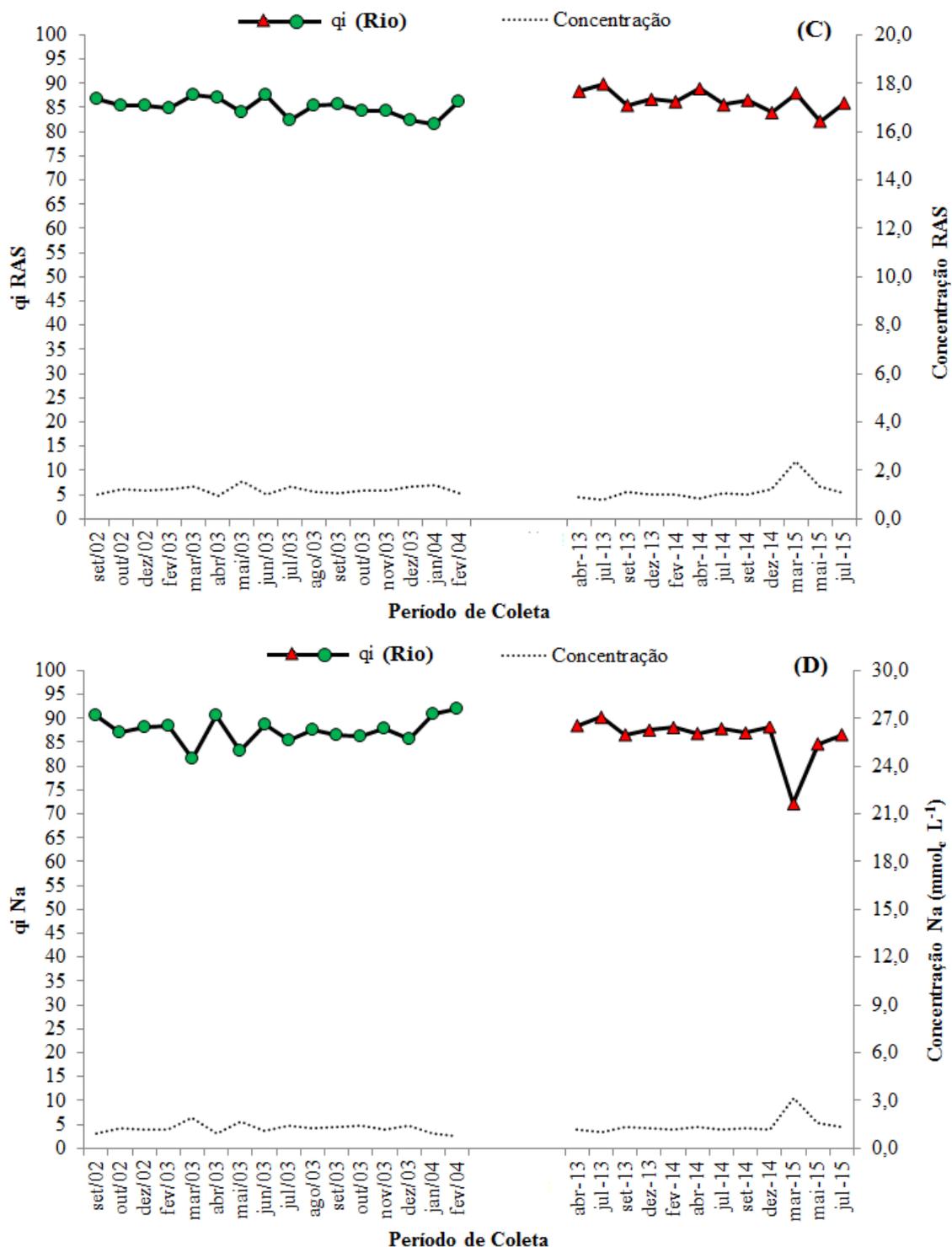
períodos de monitoramento apresenta-se em concentrações na faixa de 0,0 a 0,5 dS m⁻¹ (Figura 5), tais concentrações não são restritas ao uso na irrigação segundo os limites propostos Ayers e Westcot (1999) (CE < 0,7 dS.m⁻¹).

O íon cloreto comportou-se de forma uniforme durante todas as coletas realizadas no primeiro período, com valores variando entre 73,2 a 77,8 (Figura 6). No entanto, para o segundo período os valores de q_i apresentaram maior variabilidade, com valores entre 63,0 a 90,4 verificando uma maior influência da precipitação pluviométrica (Figura 2), de modo que, a sazonalidade influenciou significativamente neste segundo período. Os eventos chuvosos podem influenciar de forma direta, em decorrência de um maior escoamento das águas em áreas agríolas e urbanas e carreamento de íons para os corpos hídricos. Porém outros pesquisadores vem constatando restrições quanto ao íon cloreto no semiárido brasileiro (LOBATO et al., 2008; ARAÚJO NETO et al., 2014), fato que serve de alerta

para o manejo adequado da bacia tendo em vista o limite estabelecido por Ayers e Westcot (1999) de 3 mmol_c L⁻¹.

O íon Na⁺ apresentou, para águas superficiais do rio perenizado do Trussu, valores de q_i na faixa entre 80 a 90 para o primeiro e segundo período de monitoramento, com apenas uma exceção em mar-15, na qual obteve um valor de q_i de 72 com uma concentração de 3 mmol_c L⁻¹ (Figura 6). Essa coleta apresentou valor atípico com relação aos encontrados nas demais devido às chuvas que antecederam a coleta e inclusive chuvas no próprio mês. Com isso as concentrações de quase todos os elementos tenderam a aumentar em decorrência do arraste de materiais para o leito do rio. Esse incremento do íon Na⁺ por carreamento é uma evidência de locais com atividades agrícolas (THEBALDI et al., 2013). Vale ressaltar ainda que valores de Na⁺ acima de 3 mmol_c L⁻¹ encontrados em água são inapropriadas para abastecimento humano e uso na irrigação (AYERS E WESTCOT, 1999).

Figura 6. Variação temporal da concentração e valores médios de q_i da RAS (C) e do parâmetro Na^+ (D) para o primeiro e segundo período de monitoramento nas águas superficiais do rio perenizado do Trussu.



Fonte: Autor.

O parâmetro RAS seguiu a mesma tendência do Na^+ devido, logicamente, a sua

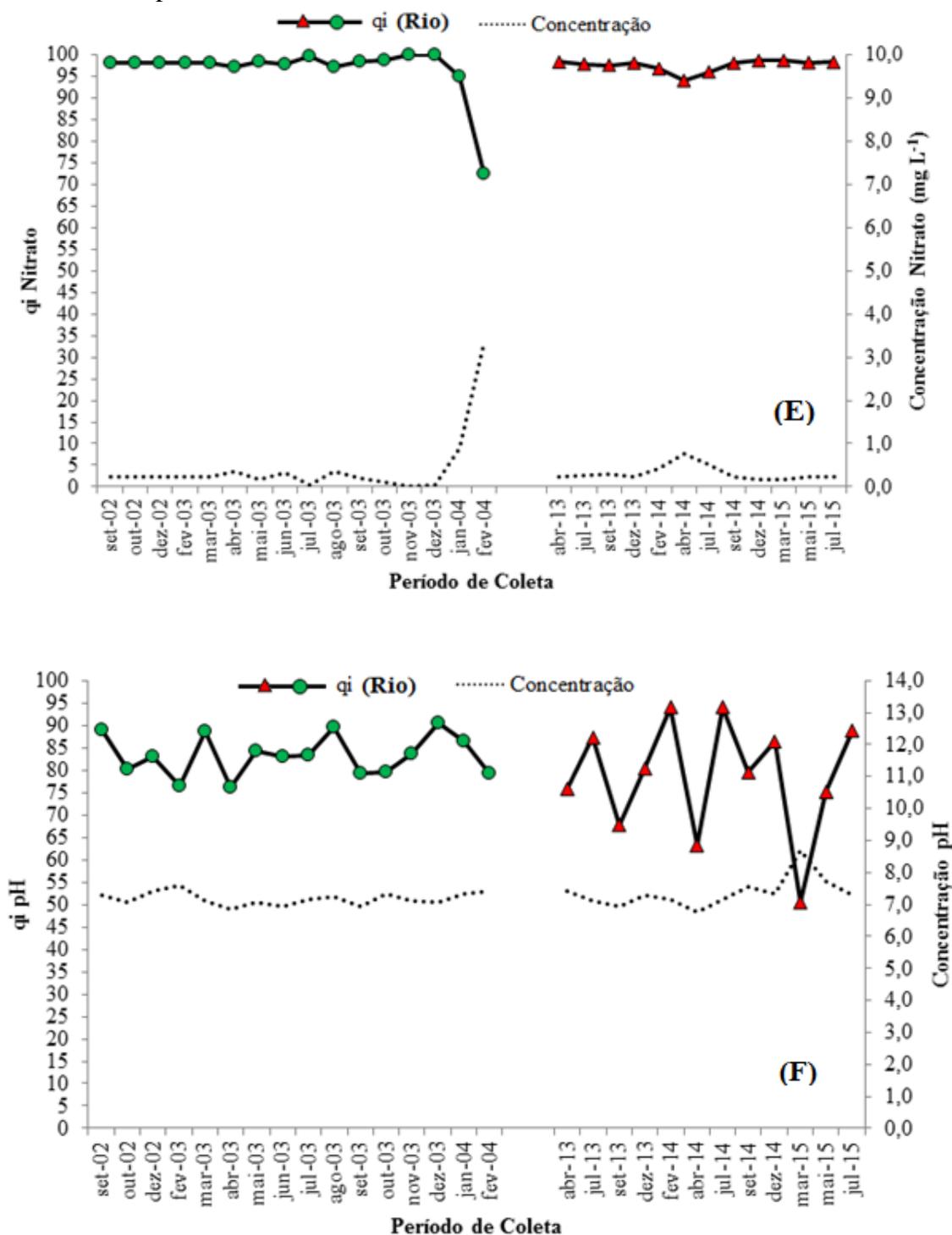
interdependência, apresentando pouca variação nos valores de q_i nas águas

superficiais do rio perenizado do Trussu. Tanto no primeiro período como no segundo período, os valores de q_i para este parâmetro permaneceram na faixa entre 80 a 90 (Figura 6). Para águas com baixos valores de RAS quando associadas a baixos valores de CE devem ser tomadas precauções quanto ao seu uso em solos de textura fina (argiloso), pois o sódio nessas condições apresenta um perigo considerável de dispersão e redução de permeabilidade (GHEYI, DIAS, E LACERDA, 2010).

Observa-se que o íon NO_3^- durante os dois períodos de monitoramento nas águas superficiais do rio perenizado manteve-se em uma faixa de q_i de 90 a 100 e concentração de 0,0 a 1,0 mg L^{-1} (Figura 7). Entretanto, um ponto a ser destacado é que na coleta do mês de fevereiro de 2004 houve um aumento da concentração do íon em torno de 10 vezes mais em relação às demais coletas. Esse fato, além de estar relacionado com a alta pluviosidade ocorrida nesse período e também pode ser

decorrente das elevadas taxas de fertilizantes nitrogenados aplicado nas áreas com cultivos agrícolas (ANDRADE et al., 2009). Os meses antecedentes à coleta, janeiro e fevereiro do ano de 2004, apresentaram precipitação pluviométrica de 420 e 238 mm, respectivamente, representando um percentual maior do que a média de cada mês, com 324% para janeiro e 140% para fevereiro. Para Galharte, Villela e Crestana (2014), o carreamento de materiais superficiais do solo é o produto final dos processos erosivos causados por ação do escoamento superficial, que se agrava ainda mais quando a vegetação natural é modificada pela degradação da agricultura. Teores de NO_3^- estão diretamente associados a forma como se maneja a bacia, sendo a retirada da vegetação natural um fator responsável pelo incremento de elementos nas água (DORIGON, STOLBERG, E PERDOMO, 2008; VANZELA, HERNANDEZ, E FRANCO, 2010).

Figura 7. Variação temporal da concentração e valores médios de q_i do parâmetro NO_3^- (E) e do pH (F) para o primeiro e segundo período de monitoramento nas águas superficiais do rio perenizado do Trussu.



Para o atributo pH, os valores de concentração média se mantiveram na faixa mínima e máxima, 6,7 e 8,7, respectivamente. Como a interpretação dos

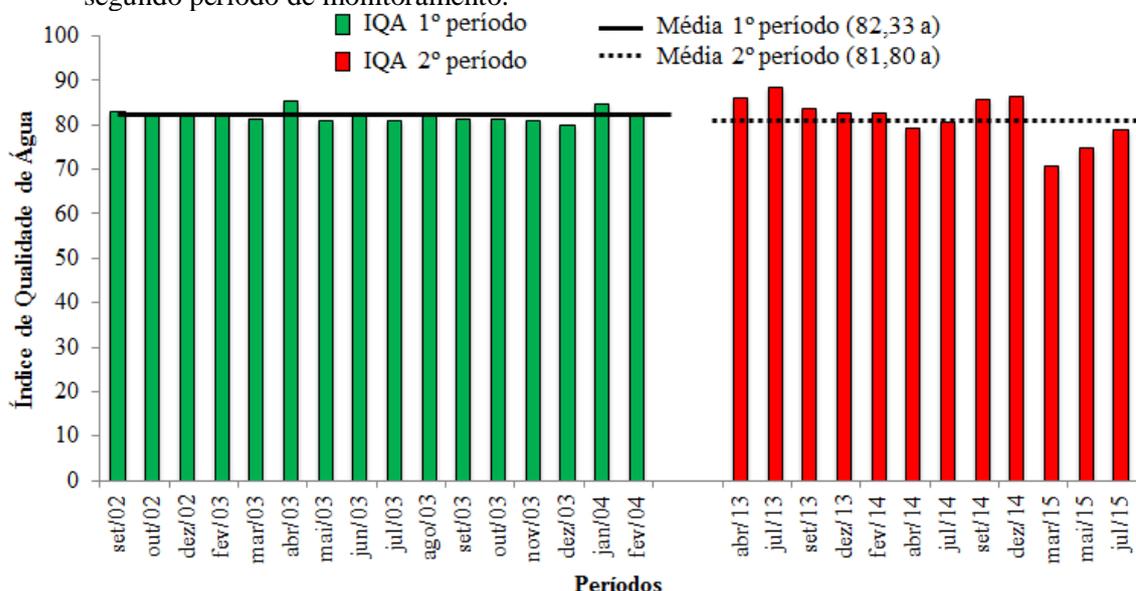
dados de pH é muito complexa, devido aos inúmeros fatores que podem influenciá-lo (PALÁCIO, 2004), qualquer oscilação pode ocasionar grandes variações nos

valores de q_i , como se observa na Figura 9, em que os valores variaram entre 60 a 90 no primeiro período e, para o segundo período, entre 50 a 95. Para Ayers e Wescot (1999), águas com pH entre 6,5 a 8,4 não apresentam restrição para a irrigação, logo, com exceção ao mês de mar-15, as águas superficiais do rio perenizado Trussu não apresentaram restrição quanto ao pH em ambos os períodos de monitoramento.

Durante o primeiro período de monitoramento, os valores de IQA variaram

entre 79,9 e 85,7 (variação menor que 7%), permanecendo sempre próximos a média de 82,33 (Figura 8), classificada como água de boa qualidade segundo Palácio (2004). Essa baixa variabilidade temporal 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).

Figura 8. Variação temporal do índice de qualidade de água para as águas superficiais do primeiro e segundo período de monitoramento.



No segundo período houve uma maior variação em relação ao primeiro período devido a eventos ocorridos isoladamente. A variação durante todo o segundo período foi de 25%, com valores mínimo e máximo de 70,9 e 88,7, respectivamente. Na coleta do mês de março de 2015, houve um acúmulo de sais e uma elevação no potencial hidrogeniônico, que contribuíram para que o IQA da referida coleta decaísse. Porém, apesar dessa maior variação, as águas de todas as coletas foram classificadas como de boa qualidade, segundo Palácio (2004). Autores como Melo Júnior, Costa e Cabral Neto (2003) também encontraram valores

de IQA na faixa de 60 a 90 analisando a qualidade das águas superficiais do rio Açu, Rio Grande do Norte.

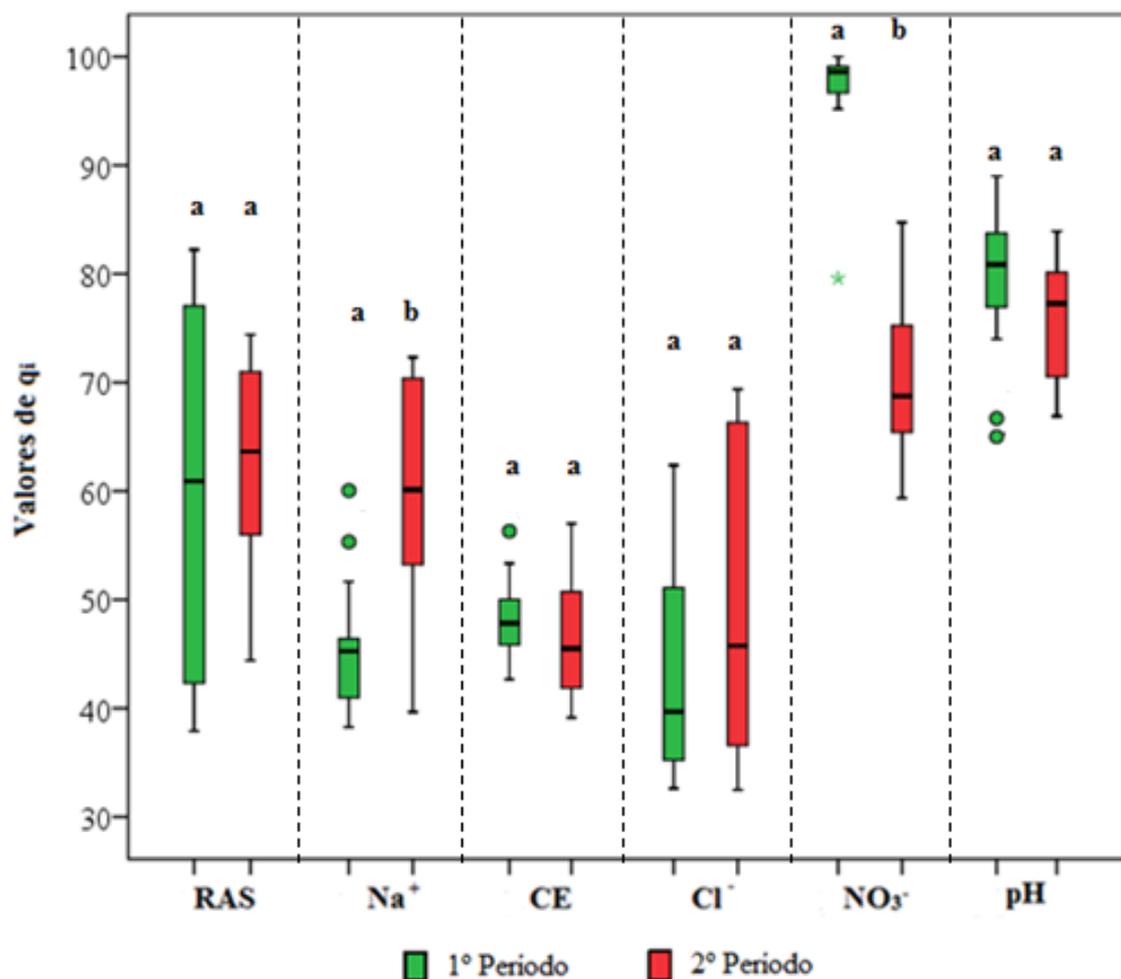
5.3 Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas apresentaram maiores variações nos valores de q_i quando comparados os dois períodos. Dos parâmetros avaliados, apenas o Na^+ e o NO_3^- diferiram estatisticamente ($P < 0,05$) entre as médias do primeiro e o segundo período de monitoramento (Figura 9). Essa diferença para o íon NO_3^- pode estar relacionada ao aumento das áreas agrícolas e urbanas, falta de saneamento básico na

região, adubações excessivas e, conseqüentemente, a adição de sais no solo. Já para o elemento Na^+ , houve uma diminuição da concentração do íon, o que acarretou no aumento dos valores de q_i .

Esses poços estão localizados no lençol freático que é abastecido pelo rio, logo pode estar havendo uma diluição dos sais devido à perenização do rio no segundo período de monitoramento.

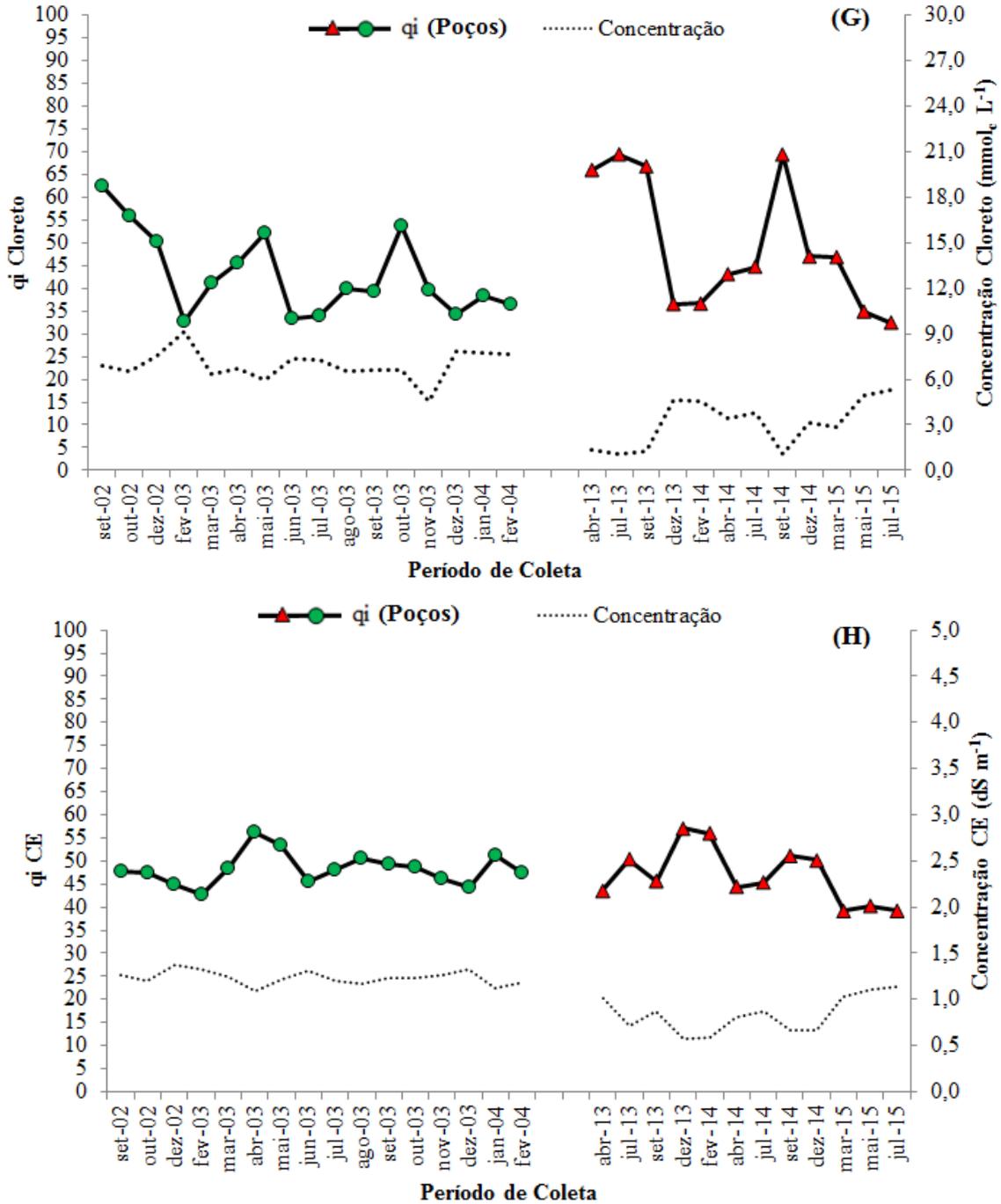
Figura 9. Variabilidade dos pesos q_i nas águas subterrâneas dos poços no vale do rio Trussu nos dois períodos distintos de monitoramento, para todos os parâmetros que contemplam o IQA: RAS, Na^+ , CE, Cl^- , NO_3^- e pH.



No primeiro período de monitoramento, as águas subterrâneas apresentaram condutividade elétrica variando de 1,0 a 1,5 dS m^{-1} (Figura 10). Esse valor é superior ao recomendado por Ayers e Westcot (1999) para abastecimento humano e irrigação, que são de 0,5 e 0,7 dS m^{-1} , respectivamente. Essas concentrações proporcionaram a variabilidade dos valores

de q_i para a CE das águas dos poços monitorados, no primeiro período, que ficaram entre 42 a 56. Para o segundo período de estudo, o q_i para CE apresentou menores valores, por consequência de anos sucessivos de secas (Figura 2), não havendo recarga pelo lençol freático e, por conseguinte, aumento da concentração dos sais.

Figura 10. Variação temporal da concentração e valores médios de q_i do parâmetro Cl^- (G) e da CE (H) para o primeiro e segundo período de monitoramento nas águas subterrâneas do rio perenizado do Trussu.



Observando o primeiro período de monitoramento, quando ocorreram eventos de grandes alturas pluviométricas (Figura 2), o íon Cl^- tendeu a aumentar sua concentração, diminuindo os valores de q_i (Figura 10). Esse aumento da concentração

deve-se a lixiviação dos sais para o aquífero, local em que ocorre a interação com os poços (ANDRADE et al., 2008). No segundo período de monitoramento, como houve anos sucessivos de secas (2012, 2013, 2014 e 2015), as concentrações não

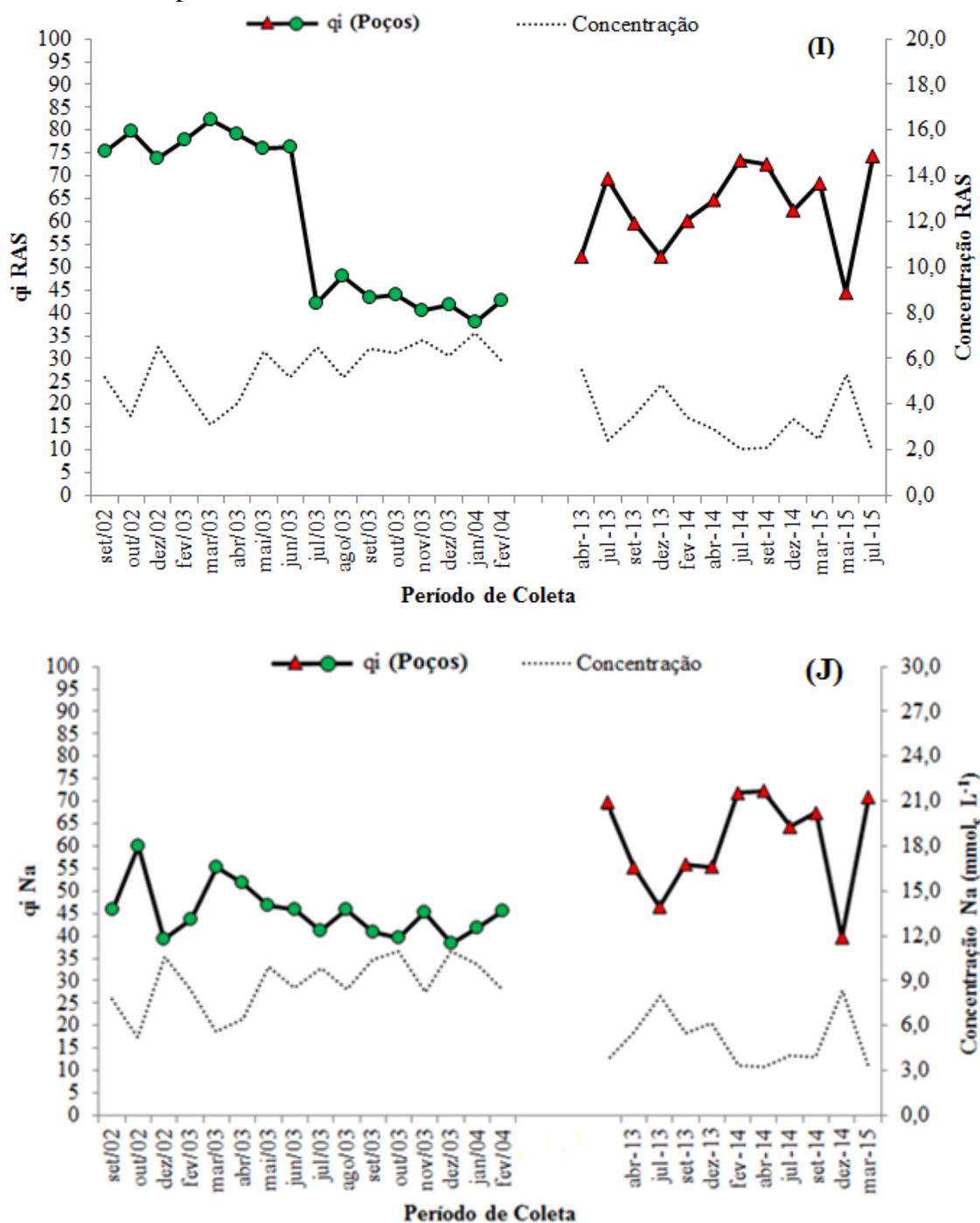
seguiram as mesmas tendências do primeiro período. Porém, houve uma maior discrepância nos dados, observada no gráfico de “boxplot” (Figura 9). Palácio (2004), em sua análise também diagnosticou altas concentrações em dois poços e explicou esses resultados devido à área ser mais povoada e uma possível mancha de solo do tipo neossolo flúvico existente nesta região onde os poços estão localizados.

Avaliando a sodificação das águas subterrâneas, observa-se que no primeiro período os valores de q_i variaram entre 38 a 85. Já no segundo período houve variação de 42 a 73 (Figura 11). No primeiro período observa-se que a concentração de Na^+ tendeu a aumentar, refletindo também no

comportamento da RAS. Com maiores concentrações de Na^+ , os valores de q_i decaíram por causa da sua inversa proporcionalidade. Este fato pode estar relacionado a lixiviação dos sais, como já constatado por Andrade et al. (2008) ao investigar os poços da região.

Para o segundo período de monitoramento, a concentração do Na^+ e o parâmetro RAS tendeu a diminuir e, por conseguinte, aumentar os valores de q_i , fato ocasionado pela diluição do sódio pelos eventos pluviométricos e pelo período mais prolongado da perenização do rio com aporte de água para o lençol freático, havendo oscilações devido à sazonalidade das coletas e variação das alturas precipitadas.

Figura 11. Variação temporal da concentração e valores médios de q_i da RAS (I) e do parâmetro Na^+ (J) para o primeiro e segundo período de monitoramento nas águas subterrâneas do rio perenizado do Trussu.



As águas subterrâneas no vale perenizado do rio Trussu apresentaram uma maior dinâmica no tempo do que as águas superficiais, sendo que a principal diferença entre os períodos de monitoramento ocorreu nas águas subterrâneas. Foram registradas

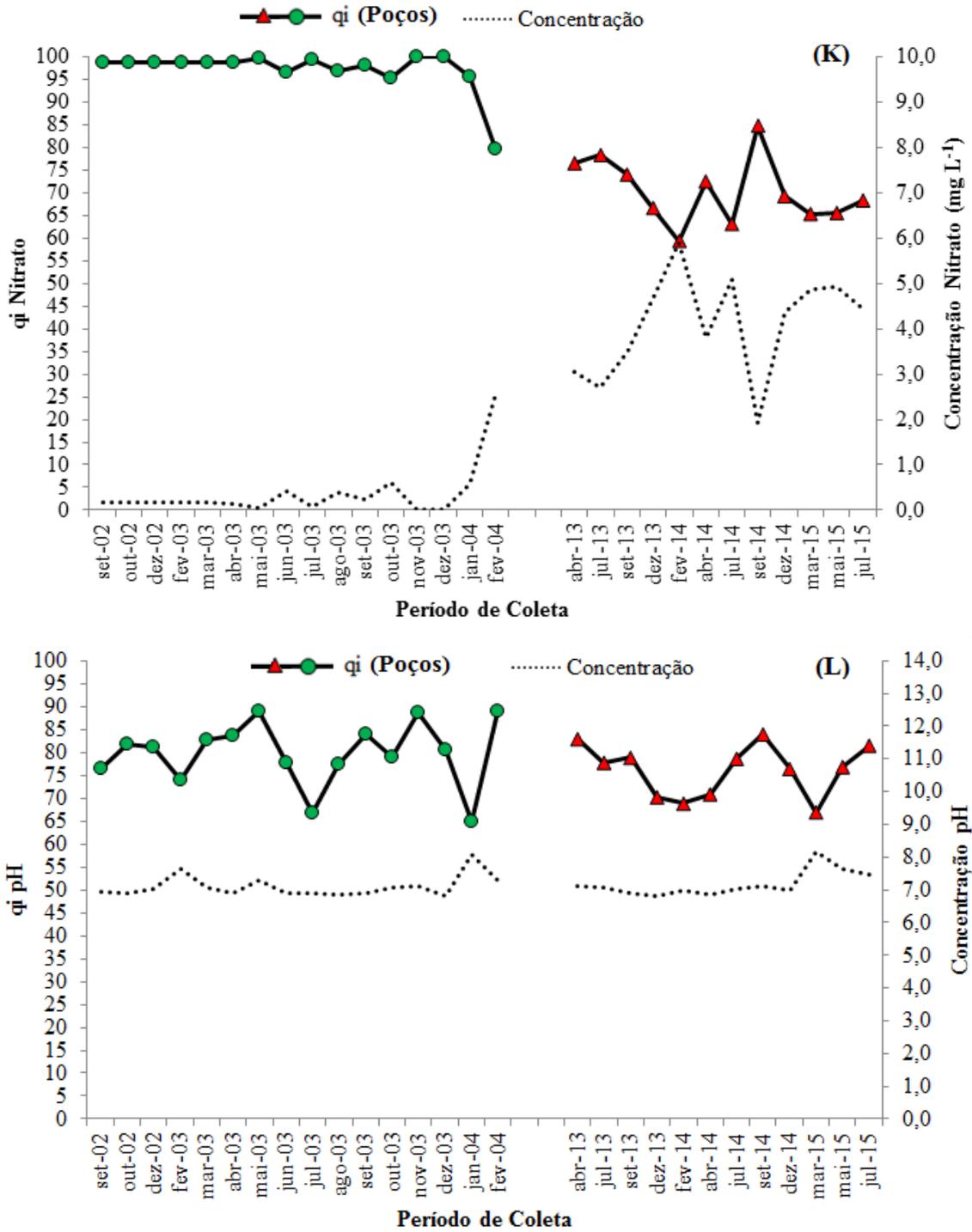
elevações nos valores de concentração do íon NO_3^- no segundo período de monitoramento em decorrência da mudança do uso da terra no vale perenizado do rio Trussu.

Verifica-se na figura 12 que os valores de q_i para o NO_3^- no primeiro período de monitoramento foram sempre superiores a 95, exceção para a coleta realizada em fev-04, em que houve uma grande altura pluviométrica na região e carreamento de nutrientes para o lençol freático. No segundo período de monitoramento, os valores de q_i para o NO_3^- variaram entre 59 e 84. Essas variações só foram constatadas no segundo período de monitoramento, evidenciando que ocorreram mudanças no uso e ocupação do solo e, por conseguinte, diminuição da qualidade das águas subterrâneas nessa região, notadamente no que se refere aos teores de NO_3^- . A influência da concentração de nutrientes nas águas, principalmente nitrato, são definidos na

literatura como indicadores de intervenções antrópicas, como por exemplo dejetos humanos e industriais, além do uso excessivo de fertilizantes (LUNA et al., 2013; TOLEDO; NICODELLA, 2002).

As concentrações de pH no primeiro e segundo período se mantiveram de forma homogênea nas águas subterrâneas dos poços monitorados, não havendo grandes variações ao longo do tempo (Figura 12). O valor médio do pH na região estudada foi de 7,2 próximo ao valor encontrado por Figueredo Junior et al. (2013), de 6,8 estudando os tabuleiros litorâneos irrigados no estado do Piauí. Já os valores de q_i se mostraram oscilantes, entretanto, sem nenhuma preocupação, pois estão na faixa classificada de bom a excelente.

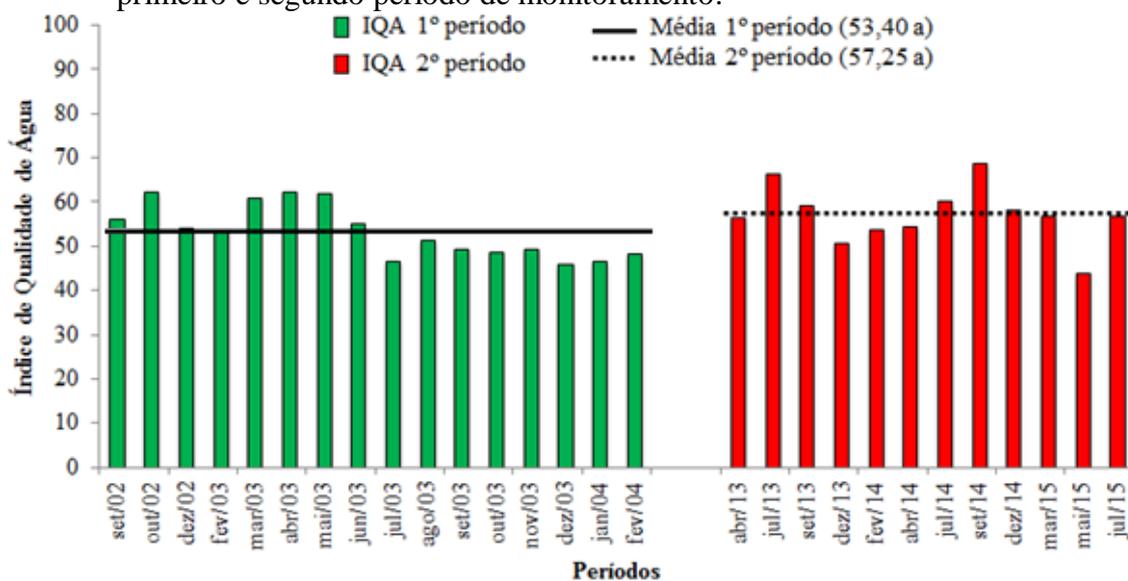
Figura 12. Variação temporal da concentração e valores médios de q_i do parâmetro NO_3^- (K) e do pH (L) para o primeiro e segundo período de monitoramento nas águas subterrâneas do rio perenizado do Trussu.



Para o primeiro período, o índice de qualidade de água teve como valor médio 53,4, e se mostrou bastante oscilante, com

um decaimento considerável após a coleta de jun-03 (Figura 13), ficando o restante das coletas abaixo da média.

Figura 13. Variação temporal do índice de qualidade de água para as águas subterrâneas do primeiro e segundo período de monitoramento.



As águas dos poços monitorados foram classificadas, em média, como regular para este período, de acordo com classificação proposta por Palácio (2004). Pode-se observar ainda que a concentração do íon Na^+ e do parâmetro RAS apresentaram tendência a aumentar após a coleta de jun-03, o que fez com que o IQA diminuísse tal coleta. Para o segundo período de monitoramento, o valor médio para o IQA foi de 57,25, evidenciando que por mais que as áreas tenham sofrido mudanças no uso e ocupação do solo, isso não refletiu significativamente na redução da qualidade dessas águas e que esta média foi maior do que a do primeiro período. Um fator bastante relevante que pode ter influenciado no aumento do IQA é a perenização do trecho, o que pode ter contribuído para diluição dos parâmetros avaliados (saís) nas águas subterrâneas.

Para o segundo período, as águas dos poços monitorados mantiveram-se classificadas, em média, como regular, também de acordo com a classificação proposta por Palácio (2004). A CETESB (2008) relata que nas margens dos rios são despejados esgotos domésticos e resíduos da exploração agropecuária, fator que pode

influenciar na qualidade das águas subterrâneas do vale do trecho perenizado Trussu, tendo em vista que alguns poços se localizam a menos de 100 m do leito do rio. Para Saad et al. (2007), o IQA está associado também a eventos climáticos.

6 CONCLUSÕES

Na parte baixa da bacia do reservatório Trussu houve uma crescente mudança no uso e ocupação do solo entre os períodos de 2003 a 2013, passando a caatinga densa de 38,7% para 11,2%, caatinga rala de 32,5% para 47%, e área antropizada de 27,8% para 40,7%.

O IQA para as águas superficiais do trecho perenizado do rio não apresentaram diferenças estatísticas entre os dois períodos de monitoramentos ($P > 0,05$), evidenciando o poder de recuperação das águas superficiais. Quanto aos atributos de qualidade de água analisados, não houve diferença estatística entre os períodos.

O IQA para as águas subterrâneas apresentaram uma maior dinâmica, em especial no segundo período. Contudo, essa dinâmica não foi suficiente para que as

médias dos dois períodos diferissem estatisticamente. Em relação aos elementos químicos analisados, apenas o Na^+ e o NO_3^- diferiram, sendo constatado uma melhora

nos valores de q_i no segundo período para o íon Na^+ e uma piora nos valores de q_i para o íon NO_3^- , também no segundo período.

7 REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. M., AQUINO, D. N., CRISÓSTOMO, L. A., RODRIGUES, J. O., LOPES, F. B. Impacto da lixiviação de nitrato e cloreto no lençol freático sob condições de cultivo irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.88-95, jan-fev, 2009.

ANDRADE, E. M., PALACIO, H. A. Q., SOUZA, I. H., R. LEÃO, A. O., GUERREIRO, M. J. Land use effects in groundwater composition of an alluvial aquifer (Trussu River, Brazil) by multivariate techniques. **Environmental Research**, vol. 106, p. 170 – 177, 2008.

ARAÚJO NETO, J. R., SALES, M. M., MEIRELES, A. C. M., PALÁCIO, H. A. Q., CHAVES, L. C. G. Modelagem da estrutura iônica das águas superficiais de reservatórios da bacia Metropolitana do Ceará, Brasil usando regressão linear múltipla. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 8, n. 1, p. 29-38, janeiro-abril, 2014.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2.ed. Campina Grande: UFPB, 1999, p. 218. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, p. 145-160, 2006.

BRASIL (1986). CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 20 de 18 de junho de 1986. **Estabelece a classificação das águas do Território Nacional e disciplina o enquadramento dos cursos de água**. Brasília, p. 43-53.

BRASIL (2000). Ministério da Saúde. Portaria nº 1469 de 20 de dezembro de 2000. **Institui as normas e padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano**. Brasília: Gabinete do Ministro da Saúde.

BUENO, L.F.; GALBIATTI, J.A.; BORGES, M.J. Monitoramento de variáveis de qualidade de água no horto Ouro Verde-Conchal-SP. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.742-748, 2005.

CETESB - Companhia De Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo**. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, p. 540, 2008.

COELHO, V. H.; MONTENEGRO, S. M.; ALMEIDA, C. D. N.; LIMA, E. R.; NETO, A. R.; MOURA, G. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido

brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.

COLETTI, C.; TESTEZLAF, R.; RIBEIRO, T. A. P.; SOUZA, R. T. G.; PEREIRA, D. A. Water quality index using multivariate factorial analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.517-522, 2010.

DORIGON, E. B.; STOLBERG, J.; PERDOMO, C. C. Qualidade da água em uma microbacia de uso agrícola e urbano em Xanxerê-SC. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 2, n. 2, p. 105-120, 2008.

ELOI, W. M.; BARRETO, F. M. S. Qualidade microbiológica da água. In: Nildo da Silva Dias; Márcia Regina Farias da Silva; Hans Raj Gheyi. (Org.). **Recursos Hídricos: usos e manejos**. São Paulo: Editora Livraria da Física, v.; p. 129-148, 2011.

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 Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 277-286, 2015.

FREITAS, C.M.; PORTO, M. F. **Saúde, Ambiente e Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz. p.124, 2006.

GALHARTE, C. A.; VILLELA, J. M.; CRESTANA, S. Estimativa da produção de sedimentos em função da mudança de uso e cobertura do solo. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 18, n. 2, 2014.

GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F (Eds). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, p. 472, 2010.

HARDING, J. S.; CLAASSEN, K.; EVERS, N. Can forest fragments reset physical and water quality conditions in agricultural catchments and act as refugia for forest stream invertebrates? **Hydrobiologia**, v.568, p.391-402, 2006.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEJA, M.; BARRADO, E.; FERNÁNDEZ, J. K.; FERNÁNDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in na aluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal componente analysis. *Water Research*, v. 34, p. 807-816, 2000.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 31 de Julho de 2016.

FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M.; FERREIRA, J. R.; FERNANDES, C. N. V.; ANDRADE, A. C.; AZEVEDO, B. M.; SARAIVA, K. R. Avaliação da qualidade da água do distrito de irrigação tabuleiros litorâneos do Piauí – Ditalpi. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n. 3, p. 213-223, 2013.

LOBATO, F. A. O.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; CRISÓSTOMO, L. A. Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 1, p. 167-172, 2008.

LOPES, F. B.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. N.; ARAÚJO, L. D. F. P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 3, p. 392-402, 2008.

LUNA, N. R. S.; ANDRADE, E. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; MEIRELES, A. C. M.; AQUINO, D. N. Dinâmica do nitrato e cloreto no solo e a qualidade das águas subterrâneas do distrito de irrigação Baixo Acaraú, CE. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, n. 1, p. 53-62, 2013.

MAIA, A. R. S. **Influência da sazonalidade climática no levantamento do uso e cobertura do solo, com uso de geotecnologias, em uma bacia hidrográfica do semiárido**. Fortaleza – Ceará. 2015. 68f. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola- área de concentração manejo e conservação de bacias hidrográficas no semiárido) – Universidade Federal do Ceará, 2015.

MELO JUNIOR, G.; COSTA, C. E. F. S.; CABRAL NETO, I. Avaliação hidroquímica e da qualidade das águas de um trecho do rio Açu, Rio Grande do Norte. **Revista de Geologia**, v. 16, n. 2, p. 27-37, 2003.

OLÍMPIO, J. L. S. **Desastres naturais associados à dinâmica climática no estado do Ceará: subsídios à gestão dos riscos de secas e de inundações**. Fortaleza – Ceará. 2013. 228f. Dissertação (Mestrado em Geografia – área de concentração dinâmica ambiental e territorial) - Universidade Federal do Ceará, 2013.

PALÁCIO, H. A. Q. **Índice de qualidade das águas na parte baixa da bacia hidrográfica do rio Trussu, Ceará**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

SAAD, A. R.; SEMENSATTO JUNIOR, D. L.; MONTEIRO JUNIOR, A. J.; RACZKA, M. F. Índice de qualidade da água do reservatório do Tanque Grande, município de Guarulhos-SP: 1990-2006. **Revista UnG-Geociências**, Guarulhos, v.6, n.1, p.118-133, 2007.

SANTI, G. M.; MENEZES, F. C.; MENEZES, S. R.; KEPPELER, C. E. 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, D.F.; GALVÍNCIO, J. D.; ALMEIDA, H. R. R.C. Variabilidade da qualidade de água na bacia hidrográfica do rio São Francisco e atividades antrópicas relacionadas. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v. 9, n. 3, 2010.

SILVA, F. K. G.; LOPES, S. F.; TROVÃO, D. M. B. L. Patterns of species richness and conservation in the Caatinga along elevation algradients in a semiarid ecosystem. **Journal of Arid Environments**, v. 110, p. 47-52, 2014.

THEBALDI, M. S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A. B.; ROCHA, M. S.; AVELINO NETO, S. Qualidade da água para irrigação de um córrego após receber efluente tratado de abate bovino. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.33, n.1, p.109-120, 2013.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.181-186, 2002.

TRINDADE, C. R. T.; FURLANETTO, L. M.; SILVA, C. P. Nycthemeral cycles and seasonal variation of limnological factors of a subtropical shallow lake (Rio Grande, RS, Brazil). **Acta Limnologica Brasiliensia**, v.21, p.35-44, 2009.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010.