

Variação espaço-temporal da qualidade da água nos canais de irrigação do Projeto Formoso em Bom Jesus da Lapa - Bahia

Spatio-temporal variation of water quality in the irrigation channels of the Formoso Project in Bom Jesus da Lapa - Bahia

Genildo Dias Santos¹, Jorge Luís Oliveira Santos¹, Oldair Donizeti Leite²

¹Universidade Federal do Oeste da Bahia – CMBJL, Bom Jesus da Lapa, BA, Brasil. E-mails: genildodias2010@hotmail.com, jlosantos2@gmail.com

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Medianeira, PR, Brasil. E-mail: oldair.leite@gmail.com

Como citar: SANTOS, G. D.; SANTOS, J. L. O.; LEITE, O. D. Variação espaço-temporal da qualidade da água nos canais de irrigação do Projeto Formoso em Bom Jesus da Lapa – Bahia. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 16, e3, 2019. <https://dx.doi.org/10.21168/regav16e3>.

RESUMO: A agricultura é uma das atividades humanas que mais contribui para eutrofização dos corpos hídricos devido ao uso intenso de fertilizantes. Como parte da água usada na irrigação das lavouras retorna para os rios e lagos é importante que a qualidade da água de irrigação esteja em níveis ambientalmente aceitáveis. Assim, no presente trabalho são apresentados os resultados do monitoramento da qualidade da água dos canais de irrigação do perímetro irrigado do Projeto Formoso A no município de Bom Jesus da Lapa, região Oeste da Bahia. Os parâmetros de qualidade da água considerados neste estudo foram: amônia (N-NH₄⁺), nitrito (N-NO₂⁻), nitrato (N-NO₃⁻), fósforo (P-PO₄³⁻), oxigênio dissolvido (OD), pH e sólidos totais dissolvidos (STD). Em todas as campanhas de amostragens, os valores médios que foram encontrados para N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, pH, OD e STD estiveram dentro dos limites normatizados pela resolução CONAMA 357/2005. Entretanto, os valores médios da concentração de P-PO₄³⁻ na água dos canais variaram entre 0,02 a 1,19 mg L⁻¹ e na maioria das campanhas ficaram acima do máximo estabelecido que é de 0,1 mg L⁻¹ em ambiente lótico. Todos os resultados obtidos neste estudo foram submetidos à análise de componentes principais (PCA) e verificou-se que as amostras coletadas no período chuvoso eram distintas das amostras coletadas no período seco por apresentarem os maiores teores de fósforo e espécies nitrogenadas, indicando uma possível variação sazonal na qualidade da água. Por fim, considerando a resolução CONAMA 357/2005 para água doce classe II, constatou-se que durante a maior parte do tempo em que esse estudo foi realizado a água dos canais de irrigação apresentou restrições para fins de irrigação.

Palavras-chave: fósforo, nitrogênio, contaminação, nutrientes.

ABSTRACT: Agriculture is one of the human activities that most contributes to the eutrophication of water bodies because of the intensive use of fertilizers. Considering that part of the water used to irrigate crops returns to rivers and lakes, it is important that the quality of irrigation water is environmentally acceptable. In this work presented the results of water quality monitoring of the irrigation channels of the irrigated perimeter of the Formoso A project in Bom Jesus da Lapa city, western region of Bahia. The water quality parameters considered in this study were ammonia (N-NH₄⁺), nitrite (N-NO₂⁻), nitrate (N-NO₃⁻), phosphorus (P-PO₄³⁻), dissolved oxygen (DO) and total dissolved solids (TDS). In all the sampling campaigns the average values of the parameters N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, pH, OD and STD were within the limits established by resolution CONAMA 357/2005. However, the mean values of the P-PO₄³⁻ concentration in the water of the canals ranged from 0.02 to 1.19 mg L⁻¹ and these values during most campaigns were above the established maximum limit of 0.1 mg L⁻¹ for lotic environment. We applied all the results obtained in this study in the principal components analysis (PCA). In PCA, we found that the samples collected in the rainy season were distinct from the samples collected in the dry season because they had the highest levels of

Recebido: 14/02/2019. Revisado: 15/05/2019. Aceito: 23/05/2019.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a [licença Creative Commons Attribution](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

phosphorus and nitrogen species, indicating a possible seasonal variation in water quality. Finally, in view of the CONAMA resolution 357/2005 for freshwater class II, we verified that most of the time the water in irrigation channels was inadequate for use in irrigation.

Keywords: phosphorus, nitrogen, contamination, nutrients.

INTRODUÇÃO

A água doce é um recurso natural essencial para manutenção da vida e indispensável em todas as atividades humanas. No entanto, o intenso uso dos mananciais, em consequência do aumento populacional, vinculado aos crescentes índices de poluição e desperdícios pela má gestão dos recursos hídricos, tem provocado uma diminuição na capacidade de reposição de água doce de qualidade no meio ambiente. Com isso, estima-se que cerca de 11% da população global não tem acesso à água doce de qualidade e em decorrência 526 mil crianças morrem anualmente (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017a, b).

Entre todas as atividades humanas, a agricultura é a maior consumidora de água doce do planeta. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, *Food and Agriculture Organization of the United Nations*), cerca de 70% de toda a água doce consumida no planeta é destinada à irrigação das lavouras (MATEO-SAGASTA et al., 2017). No caso do Brasil, onde a agricultura é um dos setores mais importantes da economia, esse número chega a 72% (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2012). Além disso, a agricultura é uma das atividades antrópicas que mais contribuem para a poluição das águas naturais, na Europa, por exemplo, estima-se que cerca de 50% a 80% da carga total de nutrientes que contamina os corpos d'água são de fontes agrícolas (TAYLOR; HE; HISCOCK, 2016; EVANS et al., 2019).

A redução da qualidade da água pelas atividades agrícolas ocorre, principalmente, pelo aporte de fertilizantes à base de nitrogênio e fósforo que são indutoras do processo de eutrofização dos corpos hídricos (TAYLOR; HE; HISCOCK, 2016; LE MOAL et al., 2019). O crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas provoca a diminuição da concentração de oxigênio dissolvido nas águas e como resultado ocorre a mortalidade de peixes e desequilíbrio em todo o ecossistema local. Além desses impactos, o aumento dos níveis de nutrientes na água pode inviabilizar a sua utilização para abastecimento público devido à alteração no sabor, odor ou pela presença de cianotoxinas produzidas na floração das algas cianofíceas (LE MOAL et al., 2019). Inclusive, as doenças relacionadas à ocorrência de cianotoxinas na água é motivo de preocupação de diversos órgãos ligados à saúde pública do Brasil, especialmente após a tragédia ocorrida no centro de diálise de Pernambuco em 1996 que ocasionou a intoxicação e morte de muitas pessoas pela contaminação da água por essas toxinas (JESUS; ALMEIDA, 2016). Devido aos riscos à saúde pública pelo aporte de nutrientes nas águas, o Ministério de Saúde do Brasil, por meio da Portaria de Consolidação nº 5/2017, considera nitrito, nitrato, cianobactérias e cianotoxinas como parâmetros de potabilidade da água para consumo humano (BRASIL, 2017).

No cenário agrícola nacional, a região Oeste da Bahia se destaca por ser a região de maior potencial hídrico do nordeste brasileiro e uma das regiões de maior produção agrícola do Brasil. Na safra de 2015/2016 a região Oeste da Bahia produziu cerca de 4,7 milhões de toneladas de produtos agrícolas em 1,9 milhões de hectares plantados (ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA, 2015). Nesse contexto, o município de Bom Jesus da Lapa ganha relevo pela produção de frutas, inclusive sendo o maior produtor de bananas do Nordeste.

A produção agrícola em Bom Jesus da Lapa se concentra nos perímetros irrigados do Projeto Formoso que possui área de plantio de 12000 hectares, 82 km de canais de concreto a céu aberto e 119 km de drenos. Segundo Rheinheimer, Gonçalves e Pellegrini (2003), em perímetros irrigados com distribuição de água por canais a céu aberto há maior vulnerabilidade a contaminações, pois a água que escoia superficialmente durante a irrigação da cultura ou na chuva, pode transportar agroquímicos para o curso d'água.

O impacto gerado pela atividade agrícola sobre um corpo hídrico pode ser avaliado pelo monitoramento da qualidade da água (BEHMEL et al., 2016). Sobretudo, o monitoramento da qualidade das águas é fundamental na prevenção de problemas mais graves, pois permite que ações sejam tomadas antes dos contaminantes alcançarem níveis nocivos à saúde humana e aos ecossistemas. Diante do exposto, este trabalho pretende mostrar a avaliação espacial e temporal da qualidade da água dos canais de irrigação do Projeto Formoso, no município de Bom Jesus da Lapa, região Oeste da Bahia. Os parâmetros de qualidade da água considerados no estudo foram: amônio ($N-NH_4^+$), nitrito ($N-NO_2^-$), nitrato ($N-NO_3^-$), fósforo ($P-PO_4^{3-}$), oxigênio dissolvido (OD), pH e sólidos

totais dissolvidos (STD). Todos os resultados encontrados foram comparados com os valores preconizados na resolução CONAMA 357/2005 do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2005).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado no município de Bom Jesus da Lapa, região oeste do estado da Bahia, no perímetro irrigado do Projeto Formoso A que possui uma área de plantio de aproximadamente 8000 hectares, 82 km de canais de concreto a céu aberto e 119 km de drenos (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen e Geiger, a região é assinalada como Aw, clima tropical com estação seca de inverno e verão chuvoso (novembro a abril), pluviosidade média anual de 833 mm e temperatura média de 25,4 °C. Os dados meteorológicos do local de estudo, no período de abrangência das campanhas de amostragens, foram obtidos da estação meteorológica automática: Bom Jesus da Lapa, nº 86672 do Instituto Nacional de Meteorologia (2018).

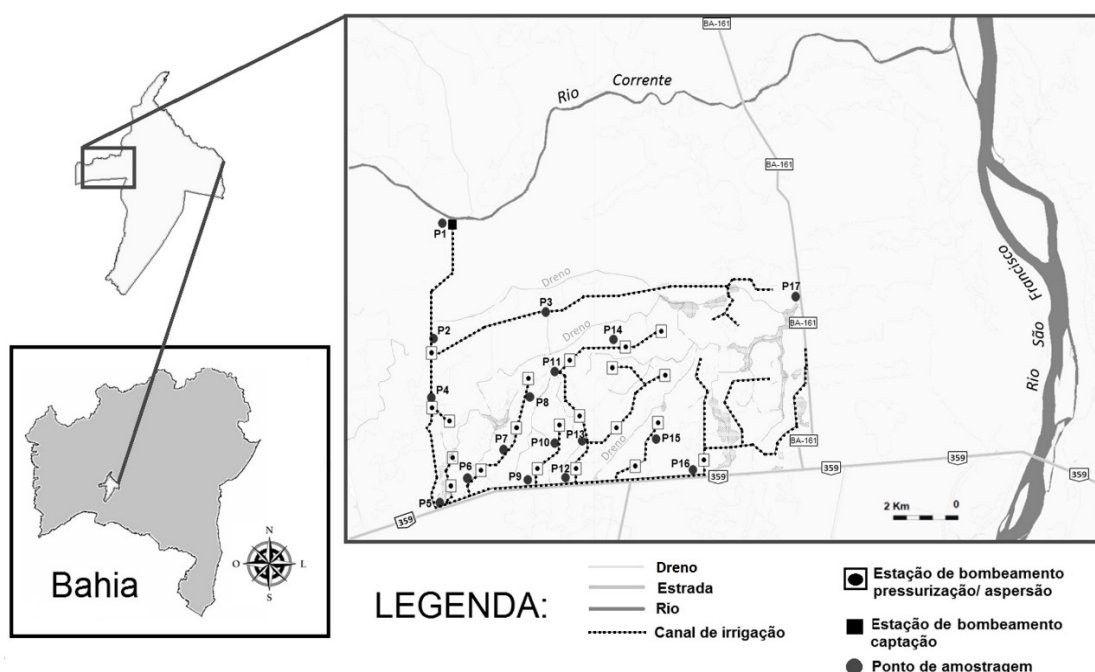


Figura 1-Mapas da Bahia e do município de Bom Jesus da Lapa, com destaque da área de estudo e localização dos 17 pontos de amostragens.

Coleta das amostras

As amostras de água foram coletadas em dezessete pontos dos canais de irrigação do Projeto Formoso A, compreendendo o ponto de captação de água no rio Corrente (P1) e o dreno de águas pluviais (P17). Os pontos de amostragens foram georreferenciados e distribuídos de forma que representassem toda a área do perímetro irrigado (Figura 1). As amostragens foram realizadas mensalmente, tendo início em outubro de 2017 e estendendo-se ao longo de dez campanhas. As campanhas de amostragens compreenderam os períodos secos e chuvosos, permitindo a verificação do possível efeito da sazonalidade sobre as características físico-químicas da água. As amostras de água para as análises físico-químicas foram coletadas e acondicionadas segundo as recomendações do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (EATON et al., 2005) e do Guia Técnico de Coleta de Amostras de Água da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) (SOUZA; DERISO, 1997). Seguindo as referidas recomendações, com auxílio de um balde de inox, foram coletadas amostras simples de água que, em seguida, foram armazenadas em vasos de polietileno de 500 ml previamente lavados com detergente livre de fosfato e rinsados três vezes com água do local de coleta. Na sequência, as amostras foram acondicionadas em caixas de isopor

mantidas a 4 °C e transportadas para o laboratório de química do CMBJL da Universidade Federal do Oeste da Bahia (UFOB).

Determinação dos parâmetros físico-químicos

As medidas de oxigênio dissolvido (OD) e pH foram obtidas *in loco*, utilizando uma sonda multiparâmetro previamente calibrada da marca HOMIS modelo 116A. As medidas de sólidos totais dissolvidos (STD) foram realizadas em laboratório com medidor de condutividade de bancada.

Na determinação dos demais parâmetros físico-químicos foram empregados os protocolos da *America Public Health Association* (APHA Methods: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e de artigos científicos publicados em revistas especializadas, conforme resumido na Tabela 1. As análises das amostras de água foram feitas em triplicatas e as medidas realizadas em espectrofotômetro UV-VIS da marca Global Trade Technology modelo UV-5100.

Tabela 1 -Metodologias das análises físico-químicas usadas para determinação dos nutrientes nas amostras de água.

Parâmetros	Métodos	Referências
Amônio-N-NH ₄ ⁺	APHA-4500-NH ₃ F. (modificado)- Espectrofotométrico (Berthelot modificado)	American Public Health Association (1992); Cogan et al. (2014)
Nitrito -N-NO ₂ ⁻	ABNT NBR 12619:1992 - Espectrofotométrico (Griess)	Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992)
Nitrato-N-NO ₃ ⁻	Espectrofotométrico (Redução com Zn/NaCl e Griess)	Narayana e Sunil (2009); Nagaraj (2016)
Fósforo-P-PO ₄ ³⁻	ABNT NBR 12772:1992 - Espectrofotométrico (Azul de molibdênio)	Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993)

Análises estatísticas dos dados

As análises estatísticas dos dados foram realizadas utilizando o *software* Statistica 7. A avaliação da distribuição espacial dos teores de nutrientes (N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ e P-PO₄³⁻) na água dos canais foi realizada a partir da análise de diagramas de *Boxplot* que foram construídos empregando os valores de concentração encontrados em cada ponto de amostragem durante as dez campanhas.

Na avaliação da distribuição sazonal dos dados foi realizada a Análise de Componentes Principais (PCA, *Principal Component Analysis*). Na PCA as amostras foram avaliadas em termos dos resultados encontrados para as variáveis N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, P-PO₄³⁻, STD, OD e pH nos dezessete pontos de amostragens de água em todas as dez campanhas. Na realização da PCA, inicialmente, se construiu uma matriz (170x7) com as variáveis dispostas em colunas e os pontos de amostragens em linhas, totalizando 1190 dados. Os dados dispostos na matriz foram auto escalonados para padronização das suas ordens de grandezas e para que todas as variáveis tenham o mesmo peso. A escolha das componentes principais (CP) que melhor explicam o conjunto das variáveis originais foi feita utilizando o critério sugerido por Kaiser (1960) que consiste em aproveitar as CPs cujo autovalor seja maior do que 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios dos parâmetros físico-químicos, e, acumulado de precipitação (mm) no mês da coleta, que foram avaliados nas amostras de água do perímetro irrigado do Projeto Formoso A. De acordo com a Tabela 2, em quase todas as campanhas de amostragens, os valores médios que foram encontrados para os parâmetros de qualidade da água, com exceção do fósforo (P-PO₄³⁻), ficaram dentro dos limites estabelecidos na resolução CONAMA 357/2005 para água doce classe II (água que pode ser destinada à irrigação).

As campanhas 2 a 7 (novembro/2017 a abril/2018) se caracterizaram pelo período chuvoso com média de aproximadamente 109 mm de precipitação no período. Já as campanhas 1 (outubro/2017), 8 a 10 (junho a agosto/2018) caracterizam o período seco.

Tabela 2 - Valores médios dos parâmetros físico-químicos na água dos canais de irrigação do Projeto Formoso A em cada uma das 10 campanhas de amostragens realizadas.

Campanha/ Acum. Precipitação (mm)	N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)*	N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)*	N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)*	P-PO ₄ ³⁻ (mg L ⁻¹)*	STD (ppm)*	OD (mg L ⁻¹)*	pH*
1/2,8	<L.D	2,00±0,19	0,79±0,37	0,02±0,01	29,70±2,8 6	7,22±0,37	8,04±0,11
2/155,6	0,02±0,01	0,86±0,34	0,02±0,01	0,27±0,08	35,38±4,9 9	6,20±0,39	7,06±0,07
3/80,3	0,05±0,01	9,95±2,91	1,02±0,24	1,11±0,30	50,49±8,3 2	6,87 ±0,34	7,15±0,11
4/86,8	<L.D	0,30±0,17	0,94±0,22	0,24±0,13	24,44±1,3 5	7,30±0,4	7,14±0,14
5/170,2	0,02±0,01	4,65±1,38	1,97±0,60	0,67±0,41	48,34±13, 95	7,03±0,29	7,10±0,04
6/88,8	0,004±0,0 03	3,71±2,17	2,67±0,59	0,44±0,01	40,31±3,0 6	6,76±0,39	7,47±0,09
7/74,5	0,002±0,0 001	0,55±0,04	0,12±0,02	0,10±0,03	33,39±2,5 6	8,24±0,53	7,33±0,09
8/0	0,003±0,0 02	0,46±0,08	0,03±0,02	0,21±0,07	26,65±1,6 2	7,02±0,42	7,23±0,09
9/0	0,002±0,0 003	0,29±0,05	0,05±0,01	1,19±0,16	28,20±4,0 8	7,71±0,23	7,86±0,11
10/0	0,003±0,0 003	0,17±0,26	0,18±0,07	0,06±0,02	26,13±1,6 1	7,02±0,58	7,44±0,11

L.D=limite de detecção, *Média (n=17) ± I.C. (95% de confiança)

Os valores médios de oxigênio dissolvido (OD) e pH na água dos canais de irrigação se mantiveram com pouca variação no período de monitoramento (Tabela 2). Também, em nenhuma das campanhas foram observadas grandes diferenças nos valores de OD e pH encontrados nos dezessete pontos de amostragens. Embora os valores médios de pH tenham ficado dentro dos limites indicados na resolução CONAMA 357/2005 para água doce classe II (pH 6,0 a 9,0), as águas dos canais de irrigação apresentaram um caráter levemente básico que, possivelmente, resulta da forte presença de rochas calcárias (Calcita e Dolomita) na região (JESUS; SOUZA, 2013).

Os teores médios de sólido totais dissolvidos (STD) na água dos canais não passaram de 50 mg L⁻¹, valor muito abaixo de 500 mg L⁻¹ que é o limite máximo instituído na resolução CONAMA 357/2005. Contudo, os valores máximos de STD foram encontrados durante o período chuvoso (campanhas 3, 5 e 6) revelando que com aumento da chuva os materiais sólidos de origem natural e/ou antropogênica estão sendo carreados para o corpo hídrico.

No decorrer das campanhas de amostragens, os valores médios das concentrações de nitrito (N-NO₂⁻) e nitrato (N-NO₃⁻) na água dos canais de irrigação (Tabela 2) estiveram abaixo do limite legal que é de 1,0 mg L⁻¹ e 10 mg L⁻¹, respectivamente (BRASIL, 2005). Como observados no diagrama de *Boxplot* (Figura 2A), os pontos P1 (ponto de captação de água no Rio Corrente) e P11 foram os que apresentaram ao longo das campanhas as maiores variações para os teores de N-NO₃⁻, com valores máximos de 16,78 mg L⁻¹ e 28,52 mg L⁻¹, respectivamente. Contudo, vale destacar que durante o período chuvoso as concentrações de N-NO₃⁻ nos pontos P1, P3, P4, P6, P8, P11, P14, P15 e P16 estiveram acima do limite da resolução CONAMA 357/2005.

No caso do íon amônio (N-NH₄⁺), com exceção da campanha 6, em todas as outras os teores médios (Tabela 2) ficaram abaixo do limite estabelecido na resolução CONAMA 357/2005 que é de 2,0 mg L⁻¹ para água com valores de pH entre 7,5 e 8,0. De acordo com o diagrama de *Bloxplot* mostrado na Figura 2B, com exceção do P9, todos os pontos exibiram variações da concentração de N-NH₄⁺ com valores máximos acima do limite que é preconizado para esse parâmetro. Os pontos de amostragens que apresentaram as maiores variações dos teores de N-NH₄⁺ durante as dez campanhas foram P2, P5, P8 e P14, com valores máximos de: 4,49 mg L⁻¹; 5,01 mg L⁻¹; 4,76 mg L⁻¹ e 6,03 mg L⁻¹, respectivamente. Todos os valores máximos da concentração de N-NH₄⁺ foram registrados na campanha 6 durante o período chuvoso.

Por se tratar de umas das formas reduzidas do nitrogênio, provavelmente a fonte desta espécie está relacionada ao manejo da cultura da bananeira na região com emprego da adubação nitrogenada. O nitrogênio (N) é um nutriente importante para o crescimento vegetativo e desenvolvimento da bananeira, pois favorece a emissão e o desenvolvimento dos filhotes (perfilhos), além de aumentar a quantidade de matéria seca. Recomenda-se 200 kg de N mineral na fase de formação e de 160 a 400 kg de N mineral/ha/ano, na fase de produção da bananeira, dependendo da produtividade esperada (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2018).

Nesse estudo, a avaliação das espécies fosfatadas foi restringida ao fósforo na forma de ortofosfato (PO_4^{3-}), pois essa é a principal forma que o fósforo pode ser assimilado pelos produtores primários e causar desequilíbrios tróficos (KIM et al., 2016; LEBRUN et al., 2018). Os teores médios de fósforo (Tabela 2) encontrados na maioria das campanhas, com exceção das campanhas 1 e 10, estavam acima de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ que é o limite máximo estabelecido na resolução CONAMA 357/2005 para P-total em ambiente lótico. Conforme pode ser verificado na Figura 2C, as maiores variações para os teores de P-PO_4^{3-} ao longo das dez campanhas foram nos pontos P1, P3 e P11, apresentando valores máximos de $2,61 \text{ mg L}^{-1}$, $3,65 \text{ mg L}^{-1}$ e $2,43 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

Os valores encontrados para os teores de fósforo em grande parte das campanhas, especialmente durante o período chuvoso, demonstraram que do ponto de vista da resolução CONAMA 357/2005 para água doce classe II, a água dos canais possuía restrições para fins de irrigação. No entanto, eventuais excessos de fósforo na água não prejudicam as plantas, na fertirrigação da banana, por exemplo, as concentrações de fósforo na água podem chegar a 15 mg L^{-1} (PHOCAIDES, 2007; ALVES et al., 2017). Do ponto de vista agrônomo, os principais problemas relacionados aos altos teores de fósforo na água de irrigação estão relacionados com o mau desenvolvimento da planta pelo desequilíbrio nutricional e entupimentos nos bicos aspersores pela formação de precipitados insolúveis com cálcio ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) e pela proliferação de algas (AYERS et al., 1985).

Apesar dos valores médios de P-PO_4^{3-} terem sido altos, não é razoável assegurar que o aporte dessa espécie química nos canais de irrigação decorre exclusivamente das atividades agrícolas desenvolvidas no local de estudo. Pois, em todos os casos em que as concentrações de fósforo, bem como outros parâmetros de qualidade da água, estiveram acima do limite legal, foi verificado que no ponto de captação de água no Rio Corrente (P1) as concentrações também estavam acima da resolução. Essa assertiva fica mais inequívoca ao considerar que no início de fevereiro de 2018, o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Bahia (INEMA) encontrou em amostras de água do Rio Corrente, em pontos a montante (CRB-CRT-550 e CRB-CRT-700) e a jusante (CRB-CRT-800) da área de estudo, concentrações de P-total acima dos limites da resolução CONAMA 357/2005. Nos pontos CRB-CRT-550, CRB-CRT-700 e CRB-CRT-800, os teores de P-total relatados foram $0,27$, $0,26$ e $0,29 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente. A amostragem de água do rio Corrente realizada pelo INEMA ocorreu 11 dias após a realização da quarta campanha de amostragem de água nos canais de irrigação. Nessa campanha, o valor médio de fósforo na área de estudo foi de $0,24 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 2), concordando com os resultados encontrados pelo INEMA (INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, 2018).

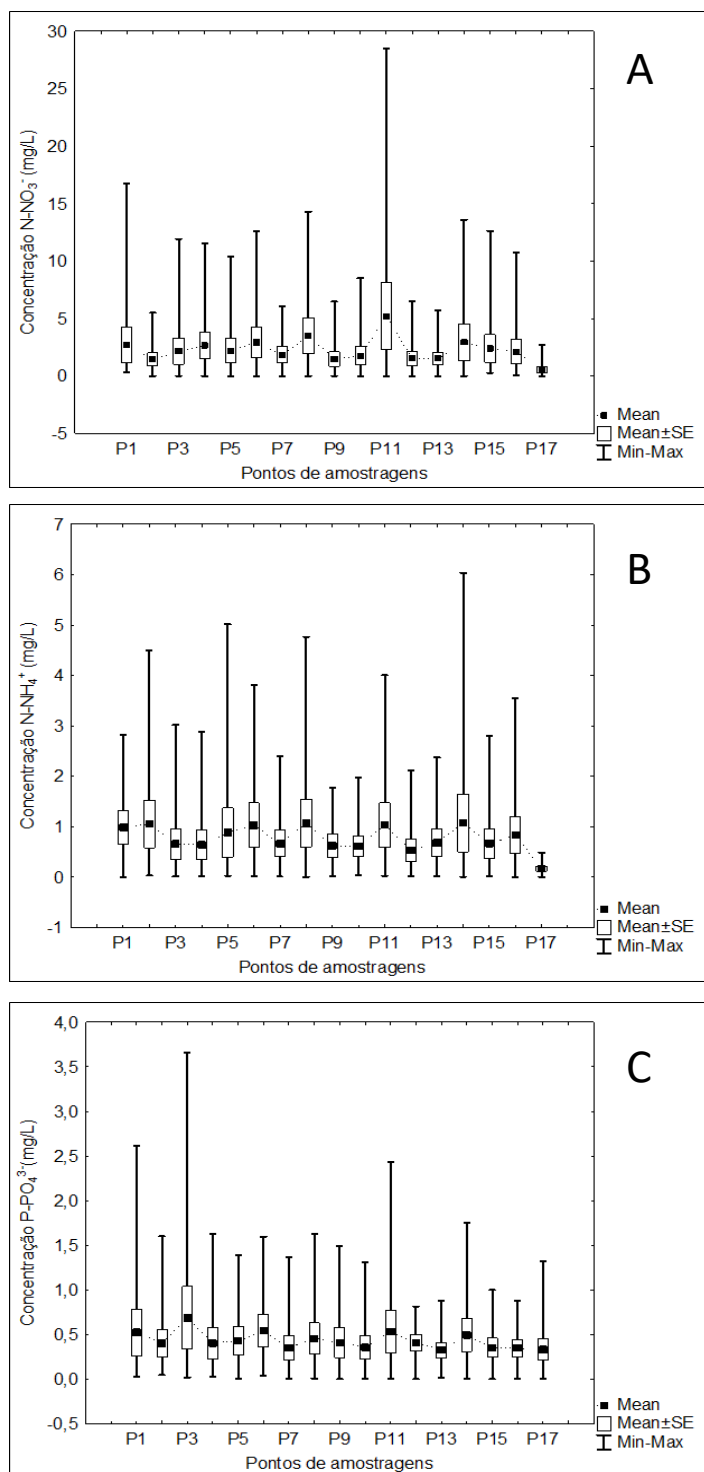


Figura 2 -Diagramas *Boxplot* com as variações dos teores de: (A) N-NO₃⁻, (B) N-NH₄⁺ e (C) P-PO₄³⁻ para cada ponto de amostragem ao longo das dez campanhas.

Ao comparar as médias das concentrações de N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ e P-PO₄³⁻ em cada campanha de amostragem com as precipitações médias mensais da área de estudo, nota-se que houve variação das concentrações dessas espécies no corpo d'água, em decorrência da sazonalidade climática regional. Os teores de N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻ e P-PO₄³⁻ foram maiores nas campanhas 2 e 3 e também na 5 e 6 que, coincidindo com os meses das maiores chuvas acumuladas no município de Bom Jesus da Lapa-Ba durante o período considerado no estudo (Figura 3).

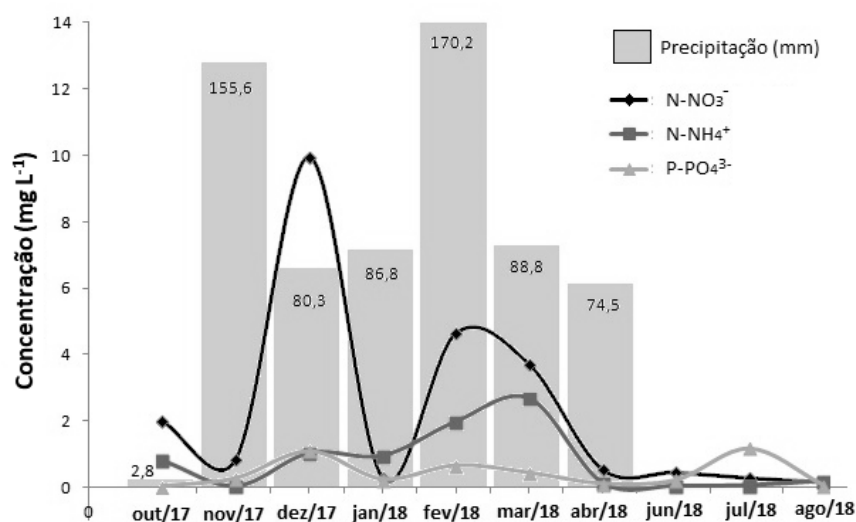


Figura 3-Gráfico da variação sazonal dos teores médios de nitrato, nitrito e fósforo, projetado sobre o gráfico de colunas das precipitações mensais na área de estudo (Dados da estação n° 86672 INMET).

Com o propósito de verificar possíveis similaridades e diferenças entre as amostras coletadas nos períodos seco e chuvoso, foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) com os valores obtidos para as variáveis N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, P-PO₄³⁻, STD, OD e pH nos dezessete pontos de amostragem de água durante as dez campanhas. Na PCA todas as variáveis em estudo puderam ser resumidas em duas componentes principais (CP1 e CP2) que, juntas explicaram 56,91% da variância das medidas originais.

A Figura 4A apresenta o gráfico de peso das variáveis em função das CP1 e da CP2. No gráfico de pesos é possível observar que, na CP1 as variáveis N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺, P-PO₄³⁻ e STD são as que possuem maior importância para a variância, apresentando valores de peso acima de 0,5 e conseqüentemente maior significância na discriminação dos dados. Também se observa uma correlação positiva entre as variáveis N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, N-NH₄⁺ e P-PO₄³⁻, indicando que o aumento do teor de fósforo nas amostras de água é acompanhado do aumento do teor das espécies nitrogenadas e vice-versa. Na CP2 as variáveis de maior significância foram OD e pH.

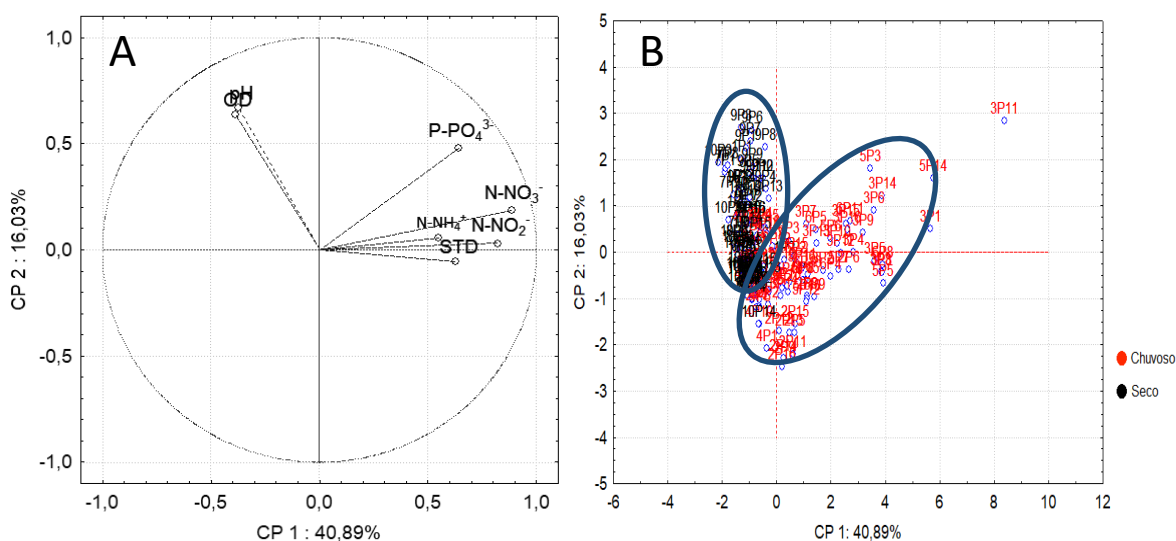


Figura 4 - (A) Gráfico de pesos das variáveis consideradas na PCA. (B) Gráfico de escore CP1 versus CP2 correspondente as amostras de água dos canais de irrigação no Projeto Formoso A.

A partir do gráfico de escore (Figura 4B) gerado na PCA, constata-se a distinção entre os grupos de amostras de água coletadas no período chuvoso (em vermelho) e no período seco (em preto), sendo mais evidente a separação dos grupos em relação a CP1 do que a CP2. Em relação a CP1, o grupo formado pelas amostras coletadas no período chuvoso, por apresentar valores mais altos de N-NO₂, N-NO₃, N-NH₄⁺, P-PO₄³⁻ e STD, aparece discriminado do grupo das amostras coletadas no período seco. Com esses resultados, fica demonstrada a influência do efeito da sazonalidade nas quantidades de fósforo e espécies nitrogenadas nos canais de irrigação. Também, fica evidente que essas espécies químicas, possivelmente, são transportadas para o curso d'água por meio de fontes difusas durante a chuva.

CONCLUSÕES

Os teores de nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺), nitrito (N-NO₂), nitrato (N-NO₃), oxigênio dissolvido (OD), pH e sólidos totais dissolvidos nas amostras de água da área de estudo, de modo geral, estavam de acordo com a resolução CONAMA 357/2005 para água doce classe II. No caso do fósforo, durante quase todo o período de realização deste estudo, as concentrações encontradas na água dos canais ultrapassaram o limite máximo de 0,1 mg L⁻¹. Considerando os termos preconizados na resolução CONAMA 357/2005 para água doce classe II, os teores de fósforo acima do limite máximo indicaram que a água dos canais estava inapropriada para fins de irrigação. No entanto, não se pode afirmar que os teores de fósforo na água dos canais de irrigação são resultados das atividades agrícolas realizadas no Projeto Formoso A, pois durante o período de estudo a água do Rio Corrente, em pontos a montante da área de estudo, também apresentaram teores de fósforo acima do limite máximo.

Na análise de componentes principais as amostras coletadas no período chuvoso foram discriminadas das amostras do período seco, pois apresentaram teores de N-NO₂, N-NO₃, N-NH₄⁺ e P-PO₄³⁻ mais altos. Evidenciando com isso, que o transporte dessas espécies químicas para água ocorre via fontes difusas durante a chuva.

Estudos neste contexto de monitoramento de espécies ambientais e correlações com a sazonalidade climática são importantes não só para a indicação dos teores das espécies monitoradas, mas podem e devem ser utilizados para ajustes do manejo agrícola ou mesmo de ajustes ou intervenções de engenharia nos canais de irrigação que possam minimizar os efeitos de contaminação, principalmente aqueles relacionados ao escoamento superficial e/ou lixiviação.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *A questão da água no Nordeste*. Brasília: CGEE, 2012. 436 p.
- ALVES, P. F. S. et al. Banana fertigation with treated sanitary wastewater: postharvest and microbiological quality. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 38, n. 3, 2017.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. *APHA method 4500-NH₃: nitrogen (ammonia): phenate method*. Washington, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 12619:1992: águas: determinação de nitrito: método de sulfanilamida e N-(1- Naftil): etilenodiamina: método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 12772:1992: água: determinação de fósforo: método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO DE AGRICULTORES E IRRIGANTES DA BAHIA – AIBA. *Anuário da região Oeste da Bahia*. Barreiras: Gazeta Santa Cruz, 2015. Anual. Disponível em: <<http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2017/03/Anuario-2015-16-FINAL-Web.pdf>>. Acesso em: 25 jan. 2019.
- AYERS, R. S. et al. *Water quality for agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985.
- BEHMEL, S. et al. Water quality monitoring strategies: a review and future perspectives. *The Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 571, p. 1312-1329, 2016.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 18 mar. 2005.

- BRASIL. Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acesso em: 16 maio 2019.
- COGAN, et al. The development of an autonomous sensing platform for the monitoring of ammonia in water using a simplified Berthelot method. *Analytical Methods*, Cambridge, v. 6, n. 19, p. 7606-7614, 2014.
- EATON, A. D. et al. (Eds.). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21th ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Dados da Agência de Informação EMBRAPA*. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/arvore/AG01_15_41020068055.html>. Acesso em: 14 fev. 2019
- EVANS, A. E. et al. Agricultural water pollution: key knowledge gaps and research needs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Maryland Heights, v. 36, p. 20-27, 2019.
- INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS – INEMA. *Dados dos parâmetros de qualidade de água do rio Corrente e rio São Francisco obtidos dos relatórios do Programa Monitora executado pela COMON/INEMA*. 2018. Disponível em: <<http://monitora.inema.ba.gov.br/>>. Acesso em: 17 ago. 2018.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. *Dados pluviométricos da estação automática nº 86672*. 2018. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em: 10 ago. 2018.
- JESUS, D. B. M.; SOUZA, R. C. A. Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco na região de Bom Jesus da Lapa, BA, e as atividades antrópicas relacionadas. *Seminário Estudantil de Produção Acadêmica*, Salvador, v. 12, n. 1, 2013.
- JESUS, G. P.; ALMEIDA, A. A. Principais problemas gerados durante a terapia de hemodiálise associados à qualidade da água. *Revista Atualiza Saúde*, Salvador, v. 3, n. 3, p. 41-52, 2016.
- KAISER, H. F. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, Thousand Oaks, v. 20, n. 1, p. 141-151, 1960.
- KIM, J. et al. Efficient recovery of nitrate and phosphate from wastewater by an amine-grafted adsorbent for cyanobacterial biomass production. *Bioresource Technology*, Barking, v. 205, p. 269-273, 2016.
- LE MOAL, M. et al. Eutrophication: a new wine in an old bottle? *The Science of the Total Environment*, Amsterdam, v. 651, p. 1-11, 2019.
- LEBRUN, E. S. et al. A metagenome-based investigation of gene relationships for non-substrate-associated microbial phosphorus cycling in the water column of streams and rivers. *Microbial Ecology*, New York, v. 76, p. 856-865, 2018.
- MATEO-SAGASTA, J. et al. *Water pollution from agriculture: a global review*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Water Management Institute, 2017.
- NAGARAJ, P. Spectrophotometric determination of nitrite and nitrate ions by diazo coupling method. *International Journal of Chemical Studies*, Delhi, v. 4, n. 3, p. 101-105, 2016.
- NARAYANA, B.; SUNIL, K. A spectrophotometric method for the determination of nitrite and nitrate. *Eurasian Journal of Analytical Chemistry*, Malaysia, v. 4, n. 2, p. 204-214, 2009.
- PHOCAIDES, A. *Handbook on pressurized irrigation techniques*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2007.
- RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B. R. Impacto das atividades agropecuárias e a sustentabilidade ecológica. *Ciência & Ambiente*, Santa Maria, v. 27, n. 27, p. 85-96, 2003.
- SOUZA, H. B.; DERISO, J. C. *Guia técnico de coleta de amostras de água*. São Paulo: CETESB, 1997. 257 p.
- TAYLOR, S. D.; HE, Y.; HISCOCK, K. M. Modelling the impacts of agricultural management practices on river water quality in Eastern England. *Journal of Environmental Management*, New York, v. 180, p. 147-163, 2016.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. *Inheriting a sustainable world? Atlas on children's health and the environment*. Geneva: World Health Organization, 2017a. Disponível em: <<https://www.who.int/ceh/publications/inheriting-a-sustainable-world/en/>>. Acesso em: 16 maio 2019.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. United Nations Children's Fund – UNICEF. *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines*. Geneva: World Health Organization, United Nations

Children's Fund, 2017b. Disponível em:
<https://www.unicef.org/publications/files/Progress_on_Drinking_Water_Sanitation_and_Hygiene_2017.pdf>. Acesso em: 16 maio 2019.

Contribuição do autor:

Genildo Dias Santos - Pesquisa realizada no âmbito Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica da Universidade Federal do Oeste da Bahia (PIBIC/UFOB), coleta das amostras de água e análises laboratoriais das amostras de água.

Jorge Luís Oliveira Santos - Orientador do primeiro autor, participação nas coletas de campo, análise dos dados e escrita do artigo.

Oldair Donizeti Leite - Participação na análise dos dados e revisão do artigo