IV-081 - AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO AÇUDE EPITÁCIO PESSOA, PARAÍBA, BRASIL, POR MEIO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA), ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP) E ANÁLISE HIERÁRQUICA DE CLUSTER (AHC)

Augusto César Souto dos Santos[(1)]
Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Mestre em Manejo de Solo e Água e Doutorando em Ciência do Solo pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB).
Lucina Rocha-Sousa[(2)]
Licenciada e Doutora em Química pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) e Professora do Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).
Guttemberg da Silva Silvino[(3)]
Engenheiro Civil, Doutor em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e Professor do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).
Walter Esfrain Pereira[(4)]
Engenheiro Agrônomo pela Universidad Nacional de Asunción, Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) e Professor do Departamento de Ciências Fundamentais e Sociais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

Endereço[(1)]**:** Rua Donatila Barreto, 120 - Cidade Universitária – Areia - PB – CEP 58397-000 - Brasil - Tel: +55 (83) 3362-2462 - e-mail: **eng.augustocesar@gmail.com**

RESUMO

O monitoramento da qualidade da água de grandes reservatórios destinados ao abastecimento da população fornece muitas informações técnicas importantes, mas que são de difícil interpretação para o público. Visando auxiliar na interpretação são elaborados os Índices de Qualidade de Água (IQA) que condensam estas informações em apenas um número. Este trabalho teve como objetivo construir um IQA para o açude Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão-PB, que reflita a qualidade da água desde a entrada dos afluentes até o barramento do reservatório. Para tanto, foram monitorados mensalmente, por 6 meses, 9 variáveis ao longo de 19 estações amostrais (EA's) distribuídas de acordo com o uso e a ocupação do solo às margens do reservatório. Ademais, pôde-se, aplicando as Análises de Componentes Principais (ACP) e Análise Hierárquica de Cluster (AHC), correlacionar as informações espacial e temporalmente. Os resultados mostraram variáveis em conformidade com a Resolução 357/05 CONAMA para Águas Classe 1: pH (6,35–8,05), Turbidez (0,7–40,5 UNT), Sólidos Dissolvidos Totais (7,7–231,7 $mg.L^{-1}$), Oxigênio Dissolvido (5,0–7,5 $mg.L^{-1}$), Nitrato (0,14–0,71 $mg.L^{-1}$), Fósforo Total (0,13–0,40 $mg.L^{-1}$), DBO (0,57–3,00 $mg.L^{-1}$), Coliformes Termotolerantes (23->11000 $NMP.100mL^{-1}$). Contudo, observa-se que os valores de Fósforo Total ficaram acima do limite máximo estabelecido, mesmo considerando-se Águas Classe 2, o que evidencia a adubação química, e o descarte dejetos, ambos ricos em fósforo, que são carreados pelas águas de irrigação e da chuva. O mês de janeiro, com pluviometria de 69,6 mm foi bastante crítico para coliformes, cujos valores para todas as estações amostrais ficaram acima de 11000 $NMP.100mL^{-1}$. O IQA do reservatório variou entre 53,53 ("regular") e 82,00 ("bom"), confirmando a variação da qualidade da água ao longo das estações amostrais dentro do período monitorado. As EA's que apresentaram melhor qualidade estão localizadas após a confluência dos 2 afluentes (rios Paraíba e Taperoá), principalmente devido ao fator diluição. A análise multivariada demonstrou que as EA's localizadas antes da confluência dos afluentes apresentam qualidade de água inferior comparada àquela apresentada pelas demais EA's, e que as variáveis Turb, OD, SDT, DBO, pH, Nitrato e C.T. foram os mais relevantes para a qualidade da água.

PALAVRAS-CHAVE: Monitoramento, análise multivariada, investigação espaço-temporal.

INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas geralmente constituem áreas com disponibilidade de regiões férteis que contemplam a atividade agrícola, e que possibilitam o sustento de diversos usos como a irrigação, o abastecimento industrial e doméstico (FRANÇA, 2009). Porém, determinados usos podem alterar sensivelmente a qualidade da água dos reservatórios, comprometendo os múltiplos usos a que estes se destinam.

Para gerenciar os recursos hídricos de forma eficaz, é muito importante que seja feito o levantamento de todo uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica na qual o ecossistema hídrico está inserido, com a finalidade de identificar quais atividades poderão influenciar a qualidade da água. Além disso, a realização do monitoramento da qualidade da água de forma sistemática e associativa às atividades antrópicas é imprescindível para se conhecer quais atividades estão sendo mais impactantes no reservatório.

Uma das atuais ferramentas para interpretação dos resultados de monitoramento é a construção de índices de qualidade que reúnem todas as informações em um único número, além de ferramentas estatísticas que sintetizem as informações a serem analisadas sem que haja perda de conteúdo. Assim, a aplicação de índices de qualidade de água aliados às análises estatísticas são uma exigência no gerenciamento dos recursos hídricos, conforme determina o § 2° do artigo 8º da resolução nº 357 do CONAMA de 2005. Desta forma, o monitoramento periódico e representativo dos reservatórios auxilia na tomada de decisões, bem como possibilita que os gestores adotem medidas prevencionistas e/ou mitigadoras dos impactos das atividades antrópicas instaladas em áreas de bacia hidrográfica na qualidade das águas dos reservatórios.

Para a elaboração do IQA utilizou-se o modelo adotado pela National Sanitation Foundation (NSF) dos Estados Unidos. Para tanto, mensalmente foram monitorados, durante 6 (seis) meses, 9 (nove) parâmetros ao longo de 19 estações amostrais (EA's). Este trabalho teve como objetivo construir um índice de qualidade de água (IQA) para o açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), localizado no município de Boqueirão-PB, objetivando investigar a qualidade da água do reservatório, desde a entrada dos afluentes até o barramento do reservatório, e relacioná-la ao uso e a ocupação do solo.

MATERIAIS E MÉTODOS

O açude Boqueirão se localiza na mesorregião da Borborema, na microrregião do Cariri Paraibano, na bacia hidrográfica do rio Paraíba, no município de Boqueirão, constituindo-se como o segundo maior reservatório do Estado (411.686.287 m³) (AESA, 2012a) e cuja região apresenta pluviometria média anual de 661 mm (DNOCS, 2011).

Ao todo foram avaliadas 9 variáveis. O pH, a Temperatura (T) e o Oxigênio Dissolvido (OD) foram verificados durante a realização das coletas, sendo as 2 primeiras variáveis mensuradas utilizando medidor de pH digital portátil HANNA HI 8424 e o OD com o medidor de OD digital portátil LUTRON DO-5519. A Turbidez (Turb) foi mensurada com um turbidímetro Policontrol AP 2000w. O Fósforo Total (PT), os Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), o Nitrato (NO_3^-) e a $DBO_{5,20}$ foram analisados em laboratório segundo APHA (1999). Os Coliformes Termotolerantes (C.T) foram determinados utilizando a técnica de tubos múltiplos conforme APHA (1999). O IQA_{NSF} foi calculado e classificado conforme Ott (1978). A análise estatística multivariada empregou ACP e AHC por meio do SAS 9.3 (2011).

As coletas das amostras foram realizadas entre janeiro e junho de 2012 a uma profundidade de 30 cm abaixo da superfície em 19 estações amostrais (EA's) distribuídas ao longo de todo o reservatório, incluindo, também, os seus afluentes. Desta forma as EA's 1, 2 e 3 são representativas da qualidade da água do rio Taperoá; a EA 4, do rio Paraíba; a EA 6, do encontro dos 2 afluentes; a EACA, do ponto de captação onde a Companhia de Águas e Esgoto da Paraíba (CAGEPA) faz captação de água para o consumo humano; a EASU, do ponto onde a Superintendência de Administração do Meio Ambiente do Estado da Paraíba (SUDEMA) realiza monitoramento da qualidade da água deste reservatório; e a EASA, do sangradouro. As demais EA's foram definidas conforme os usos e a ocupação do solo, predominantes, às margens do açude, figura 1.

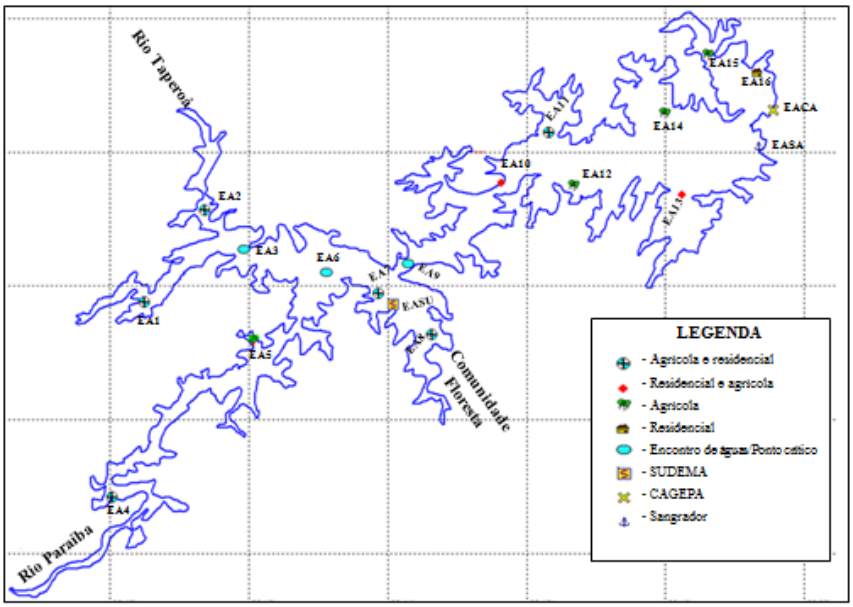

Figura 1. Localização das EA's representativas do uso e ocupação do solo no açude Boqueirão.

RESULTADOS

Na tabela 1 são apresentados os resultados obtidos por meio do monitoramento.

Tabela 1. Estatística descritiva dos resultados das variáveis e do IQA para as EA's.

Estatística Descritiva	pH	PT (mg. L^{-1})	Turb (UNT)	SDT (mg. L^{-1})	T (°C)	NO_3^- (mg. L^{-1})	OD (mg. L^{-1})	C.T. (NMP.100ml^{-1})	$DBO_{5,20}$ (mg. L^{-1})	IQA
Média	7,02	0,27	6,15	37,18	26,62	0,39	6,72	2205,23	1,54	70,26
D.P.	0,43	0,06	9,80	53,20	0,92	0,14	0,52	4117,35	0,51	7,34
CV (%)	6,18	22,83	159,40	143,10	3,47	34,52	7,74	186,71	33,02	10,44
Máx.	8,05	0,40	40,50	231,70	28,30	0,71	7,50	11000,00	3,00	82,00
Mín.	6,35	0,13	0,69	7,74	23,70	0,14	5,00	23,00	0,57	53,53

* DBO medida após 5 dias de incubação à temperatura de 20°C no escuro.

Os resultados mostram que para as variáveis pH, T e OD, os coeficientes de variação (CV) foram abaixo de 10%, indicando homogeneidade dos valores apresentados para as EA's ao longo do tempo. Quanto ao pH observou-se que as EA's 1, 2, 3 e 4 apresentaram os menores valores, havendo tendência de crescimento em função da proximidade das EA's ao barramento do reservatório. Para a temperatura, as EA's refletiram a temperatura típica da região. Quanto ao OD, os valores relativamente altos certamente são fruto da existência de ondas pelo reservatório, aumentando o contato entre a água e o ar atmosférico e, consequentemente, promovendo o aumento do OD nas camadas superficiais da água. Tanto para o pH quanto para o OD, as EA's se enquadram como água Classe 1, de acordo com a resolução 357/CONAMA. O PT, NO_3^- e a $DBO_{5,20}$ apresentaram uma variação um pouco maior que as variáveis anteriores e, para o PT, houve desacordo com a resolução 357/CONAMA para Água Classe 2 para todas as EA's. Para o NO_3^- e a $DBO_{5,20}$ as 4 primeiras EA's apresentaram os maiores valores de concentração, mesmo assim, estas se enquadraram como Água Classe 1, pela resolução acima citada. Observa-se que a partir da confluência dos afluentes o efeito diluição, pelo aumento da seção e da profundidade, contribui para a redução destas variáveis. Os SDT e a Turb são as variáveis que apresentaram altos CV. Estas têm uma relação intrínseca e apresentaram o mesmo comportamento. Os valores apresentados pelas 4 primeiras EA's são bastante superiores aos apresentados pelas demais EA's. A média da Turb para as 4 primeiras EA's é de 23,6 UNT, enquanto que para as demais EA's é de 1,5 UNT. Para este parâmetro, apenas a EA 2, em abril, apresentou valor acima de 40 UNT, sendo classificada como água Classe 2. Para os SDT a média encontrada paras as 4 primeiras EA's foi de 115,3 mg.L^{-1} e das demais EA's foi de 16,4 mg.L^{-1}. Quanto a este parâmetro, todas as EA's enquadraram-se como Classe

1. Os C.T apresentaram o maior CV (186,71%). Isto se deu devido aos altos valores encontrados para todas as estações amostrais no mês de janeiro (>11.000 NMP.100ml^{-1}). Tal fato certamente foi ocasionado pelo regime de precipitação ocorrido antes e durante este mês, que de acordo com AESA (2012b) apresentou uma variação de 67,7 mm. Além disso, o mês de janeiro é característico de ocupação das residências instaladas no entorno do reservatório. A partir de fevereiro, os C.T apresentaram valores bem menores. As estações amostrais representativas do uso doméstico e da criação de animais foram as que apresentaram os maiores valores de C.T durante os meses monitorados, à exceção da EA 6 que apresentou altos valores de C.T que certamente adviram das EA's 1, 2 e 3 localizadas à montante, o que gerou uma variação quanto ao enquadramento destas EA's conforme resolução 357/CONAMA. Na figura 2 pode-se observar o boxplot do IQA calculado para as EA's.

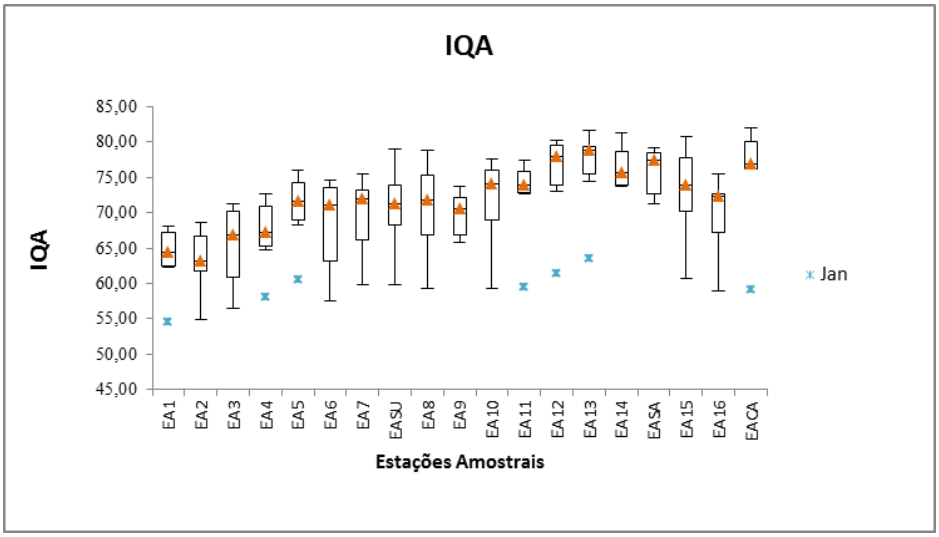

Figura 2. Boxplot do IQA calculado para as EA's.

Na figura 2 observa-se que o IQA apresentou uma tendência de melhora em função da proximidade das EA's ao barramento do reservatório, tendência observada mesmo antes do cálculo do IQA. Os valores de IQA variaram de 53,53 à 82,00, classificando a água entre "média" a "boa" no período monitorado. Os valores de mediana revelaram que as EA's situadas em uma mesma região apresentaram valores semelhantes, como pode-se observar pelos valores obtidos pelas EA's 6 à 9. Os únicos valores *outliers* (discrepantes) foram observados para o mês de janeiro em 7 EA's. Como exposto acima, no mês de janeiro, algumas variáveis, como os C.T., foram elevados afetando o valor do IQA para algumas EA's. A seguir, a figura 3 apresenta um bloxplot do IQA *vs*. tempo.

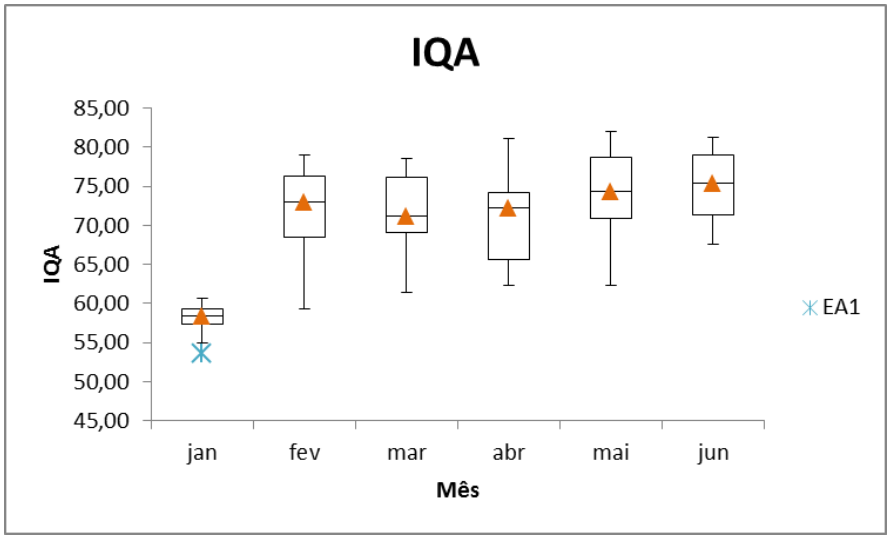

Figura 3. Boxplot do IQA calculado em função dos meses de monitoramento em 2012.

Na figura 3 observa-se o comportamento encontrado para o IQA em função dos meses. Os menores valores foram encontrados paras todas as EA's no mês de janeiro, principalmente devido aos altos valores de C.T., e cujas EA's apresentaram valores de IQA inferiores a 61,00. A partir de fevereiro houve uma tendência de melhora do IQA, culminando no mês de junho. Nestes meses as medianas do IQA foram 73,00 ± 2,00. Apenas o mês de janeiro a EA1 apresentou um valor baixo caracterizando como um valor *outlier* (discrepante).

A partir da Análise de Componentes Principais (ACP) foram identificadas as Componentes Principais (CP) que explicam mais de 70% da variância. Desta forma as Componentes Principais 1 (CP1) e 2 (CP2) foram as principais componentes, de modo que a CP1 explica uma variância de 58,64% e é formada pela T, OD, SDT, DBO, pH e NO_3^-. O pH e o OD apresentaram correlação negativa com a CP1, cujo sinal indica que quanto maior a concentração, melhor será a sua qualidade. Raciocínio contrário pode ser utilizado para as demais variáveis. Por exemplo: quanto maior a concentração da DBO, menor será a qualidade apresentada por esta. A CP2 explica uma variância de 14,09% e é formada pelos C.T. Observou-se que as EA's 1, 2, 3 e 4 apresentaram altos *scores* com a CP1 para as variáveis com correlação positiva, indicando uma menor qualidade da água já que tais variáveis em concentrações elevadas indicam poluição. Já a EA 6 apresentou altos *scores* com a CP2. A partir da Análise Hierárquica de Cluster (AHC) foi possível dividir as EA's em dois grandes grupos. O grande grupo 1, formado por todas as EA's localizadas após a confluência dos afluentes, à exceção da EA 5, apresentou uma qualidade de água superior àquela das EA's pertencentes ao grande grupo 2. Já o grande grupo 2 é formado por todas as EA's localizadas antes da confluência, ou seja, representativas da qualidade da água dos afluentes.

CONCLUSÕES

As análises das variáveis monitoradas e dos valores de IQA_{NSF} calculados demonstraram que os afluentes do açude Epitácio Pessoa apresentam uma qualidade de água inferior à do restante do reservatório, mas que melhora significativamente a partir da confluência dos dois afluentes, devido ao efeito de diluição que reduziu a concentração de determinadas variáveis. A ACP e a AHC corroboraram com a discussão inicial das variáveis, permitindo a identificação de características apresentadas pelas EA's que as separam em dois grandes grupos de acordo com a qualidade da água. Além disso, o IQA calculado conjuntamente às metodologias estatísticas empregadas possibilitou a caracterização da qualidade de água apresentada por um corpo d'água, sendo possível classifica-lo espacial e temporalmente, identificando as principais variáveis que influenciaram a qualidade da água e que são relevantes para o planejamento de medidas preventivas e/ou mitigadoras a serem adotadas visando promover a proteção e a conservação do recurso hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AESA. AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS NO ESTADO DA PARAÍBA. Disponível em: <http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/volumesAcudes.do?metodo=preparaUltimosVolumesPorAcude2>. Acesso em: Acesso em: 26 jul. 2012a.
2. AESA. AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS NO ESTADO DA PARAÍBA. Disponível em:<http://site2.aesa.pb.gov.br/aesa/monitoramentoPluviometria.do?metodo=listarMesesChuvasMensais>. Acesso em: 26 jul. 2012b.
3. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed., Washington, D.C: American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, 1220p. 1999.
4. DNOCS, Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Açude Boqueirão de Cabaceiras. Disponível em: <http://www.dnocs.gov.br/barragens/boqueirao/boqueirao.htm> Acesso em: 25 set. 2011.
5. FRANÇA, M.S. Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento de qualidade de água da bacia do Alto Iguaçu: Uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos. 2009. Dissertação de Mestrado-Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental-Universidade Federal do Paraná, 2009.
6. OTT, W. R. Environmental Indices: theory and practice. Michigan: Ann Arbor Science, Ann Arbor, 371 p. 1978.