

INDICADORES DE QUALIDADE DE ÁGUA UTILIZANDO TÉCNICAS DE ANÁLISE MULTIVARIADA

*José Wilker de F. Sales¹; Ticiania M. de C. Studart²; Helena Becker³; Raimundo B. Gomes⁴;
Francisco de A. Souza Filho⁵ & Mauro C. de B. Sousa⁶*

RESUMO - A Lagoa de Messejana está numa região que concentram comércios e residências, provocando problemas ambientais ao ecossistema por poluições pontuais ou difusas. Objetivando utilizar a análise multivariada como ferramenta de interpretação dos dados realizaram-se coletas de água em três seções, entre agosto/2006 e julho/2007, mensalmente. As variáveis temperatura, turbidez, pH, condutividade, DBO₅, DQO, OD, SST, SDT, amônia total, nitrito, nitrato, fósforo, alcalinidade, dureza e CTT foram analisadas. Os resultados foram validados, padronizados e submetidos à PCA para reduzir os dados, facilitando nas inferências sobre os problemas. Analisando três pontos, separadamente, no ponto 01 as quatro componentes, explicando 73,51% da variabilidade, definiram grupos por esgotos domésticos, aporte de carga orgânica, temperatura e o último por compostos dissolvidos. No ponto 02, as quatro componentes explicando 73,21%, definiram contaminação de origem fecal, aporte de matéria orgânica, a degradação da matéria orgânica e os impactos das atividades domésticas. Para o ponto 03, existe explicação de 67,21% nas quatro componentes, estabelecendo o processo de eutrofização, contaminação de origem doméstica, processos de autodepuração e o aporte de matéria orgânica. O estudo confirma que o aporte de carga orgânica é o principal fator de deterioração do ecossistema, necessitando de monitoramento e infra-estrutura de saneamento.

ABSTRACT - The lake of Messejana is a region that concentrates shops and homes, causing environmental problems to the ecosystem by point or diffuse pollution. Aiming to use multivariate analysis as a tool for interpreting the data collection was carried out of water in three sections, between July/2007 and agosto/2006, monthly. The variable temperature, turbidity, pH, conductivity, BOD₅, COD, DO, TSS, TDS, total ammonia, nitrite, nitrate, phosphorus, alkalinity, hardness and CTT were analyzed. The results were validated, standardized and submitted to PCA to reduce the data, facilitating inferences about the problems. Looking at three points, separately, in section 01 the four components, explaining 73.51% of the variability, groups defined by domestic sewage, supply of organic load, temperature and last for dissolved compounds. In point 02, the four components explaining 73.21%, defined contamination of fecal origin, input of organic matter, the degradation of organic matter and the impacts of household activities. To point 03 there is explanation of 67.21% in four components, establishing the process of eutrophication, contamination of domestic origin, autodepuration processes and input of organic matter. The study confirms that the input of organic load is the main factor of deterioration of the ecosystem, requiring monitoring and infrastructure for sanitation.

Palavras-Chaves: Qualidade de Água, PCA, Aporte de Matéria Orgânica.

(1) Mestrando em Saneamento Ambiental DEHA/UFC Campus do Pici, BI 713. 60.451-970 Fortaleza-CE. Email: wilkersales@oi.com.br

(2) Professora Associado da UFC/CT. Campus do Pici, BI 713. 60.451-970 Fortaleza-CE. Email: ticiania@ufc.br

(3) Professora adjunto da UFC/DQ. Rua Antonio Justa, 3435 – Apto 1002. 60.165-090 Fortaleza-CE. Email: becker@ufc.br

(4) Professor do IFCE. Rua Pergentino Maia, 1500 – casa 213. 60.840-040 Fortaleza-CE. Email: bemvindo@cefetce.br

(5) Professor adjunto da UFC/CT. Campus do Pici, BI 713. 60.451-970 Fortaleza-CE. Email: assisfilho@secrel.com.br

(6) Doutorando em Recursos Hídricos DEHA/UFC. Campus do Pici, BI 713. 60.451-970 Fortaleza-CE. Email: engmaurocesar@gmail.com

1 - INTRODUÇÃO

As funções da água na natureza são numerosas, tanto em relação à matéria inanimada quanto à matéria organizada, como seres vivos. Ela desempenha papel exclusivo na dinâmica da crosta terrestre, determina a natureza e a estrutura da biosfera e rege a composição química e o metabolismo bioquímico dos seres vivos. Essas funções repousam nas suas características anômalas de estrutura e de propriedades físicas e químicas, além de uma extraordinária capacidade de reciclagem contínua (Costa, 1991).

Os ecossistemas aquáticos vêm sofrendo uma série de alterações nas suas características hidrológicas, com repercussões climáticas e ecológicas, que causam impactos tanto à flora quanto à fauna terrestre ou aquática. O crescimento populacional e econômico promovido nas suas margens, promove impacto ambiental, principalmente pelos dejetos lançados de forma inapropriada, devido às altas taxas de cargas orgânicas e até mesmo poluentes tóxicos (Branco, 1977). Assim sendo, o fator qualidade passa a ser extremamente importante (Mota, 1995).

A quantificação dessa carga poluidora que aporta a um corpo d'água é um elemento fundamental para qualquer manejo que objetive a conservação e o uso sustentável do ecossistema. Através da análise integrada entre os dados de qualidade da água e características de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, associados à distribuição da população e à disponibilidade de infraestrutura urbana e industrial, torna-se possível definir relações de causa e efeito entre as condições de ocupação da bacia e a qualidade da água (Tundisi, 2003).

A poluição proveniente de atividades nas margens dos corpos hídricos – pontual ou difusa - contribui significativamente no desgaste do equilíbrio, ocasionando uma degradação ambiental acentuada e visível nas grandes cidades brasileiras.

O monitoramento sistemático da qualidade dos ambientes é atribuição legal dada aos órgãos da administração pública responsáveis para a proteção e melhoria da qualidade dos recursos naturais, conforme estabelecido pela Política Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 1981).

Neste contexto, existe uma grande pressão antrópica exercida nos ecossistemas aquáticos urbanos, seja pela busca do desenvolvimento econômico ou pela sobrevivência da população nas suas áreas de influência. Tal cenário tem acentuado a preocupação com relação à gestão destes recursos hídricos, com ênfase na qualidade desses mananciais, principalmente os de abastecimento humano.

Algumas técnicas de estatística multivariada vêm sendo empregadas para auxiliar na resolução dos problemas de poluição dos ecossistemas aquáticos. Zimmermann *et al* (2008) avaliam o impacto ambiental causado pelas atividades urbanas e industriais sobre a qualidade das águas do rio Tibagi e demonstram a facilidade com que a PCA permite extrair informações relevantes, a partir

de um volumoso conjunto de dados, com discriminação de amostras em função do período sazonal e influenciado pela precipitação mensal, assim como pelos parâmetros que impactam o corpo hídrico na região de Ponta Grossa. Já Disney *et al* (2007) afirmam que Análise de Componentes Principais – PCA agrupou em quatro, os fatores mais importantes para a explicação da qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do Baixo Acaraú. E, por fim, Oliveira e Becker (2006), ao caracterizarem, limnologicamente a Lagoa do Sal, em Beberibe-Ce, afirmam que a PCA auxiliou na determinação da sazonalidade nos períodos de estiagem e chuvoso.

1.1 – Lagoa da Messejana

A Lagoa de Messejana está inserida na bacia hidrográfica do Rio Cocó/Coaçu, drenando uma área de aproximadamente 517 Km², configurando-se na mais importante para o município de Fortaleza (Viana, 2000). Com relação à população desta bacia, são aproximadamente 615.354 habitantes (IBGE, 2000). A lagoa tem uma bacia hidráulica com área média de 324.500m² e está inserida no local mais urbanizado da sub-bacia, com seu entorno ocupado por comércios variados, avenidas movimentadas e variados equipamentos urbanos importantes, no qual se destaca o Terminal de Ônibus de Messejana (INVENTÁRIO AMBIENTAL DE FORTALEZA, 2003).

A Lagoa disponibiliza, ainda, alguns locais para o lazer, como calçadão e píer, poucos utilizados, no entanto. Apresenta, em seu entorno, alguns trechos com vegetação de médio porte, principalmente na sua porção oeste. Como potencialidades que merecem destaque, os aspectos urbanístico e paisagístico. A vegetação presente é a exótica (INVENTÁRIO AMBIENTAL DE FORTALEZA, 2003). É interessante salientar a Estátua da Iracema (índia Iracema, “*a virgem dos lábios de mel e de cabelos mais negros que a asa da graúna*”, personagem do romance Iracema, do escritor nacionalmente conhecido, José de Alencar, que nasceu no bairro) (FIGURA 01).



FIGURA 01 – Estátua de Iracema da Lagoa de Messejana.
Fonte: D. M. de Andrade (2006).

1.2 – Objetivo

O presente trabalho tem como principal objetivo inferir sobre a qualidade das águas da Lagoa de Messejana utilizando ferramentas de análise multivariada (análise de componentes principais – PCA e correlação linear de Pearson) para auxiliar na interpretação dos resultados físicos, químicos e microbiológicos.

2 - PARTES EXPERIMENTAIS

Para os experimentos foram realizadas, em campo, coletas de amostras de água em três seções de amostragem da lagoa de Messejana e, posteriormente, levadas ao laboratório para as análises de determinação de variáveis físicas, químicas e microbiológicas. De posse dos resultados das análises, estabeleceu-se uma validação dos dados e um estudo estatístico que auxiliou nas inferências sobre os dados.

2.1 - Pontos de Amostragem

Os três pontos de coleta selecionados na bacia hidráulica da lagoa localizam-se na entrada da Lagoa Seca de coordenada UTM 0555909 / 9577202, um no centro do ecossistema de coordenada UTM 0555930 / 9576940 e o outro na entrada do Riacho Canaã de coordenada UTM 0555841/9576520 (Figura 02).

Todos os pontos tiveram profundidade mínima de 1,0m. As coletas de águas superficiais foram realizadas durante um ano, no período entre agosto de 2006 e julho de 2007, com frequência mensal.

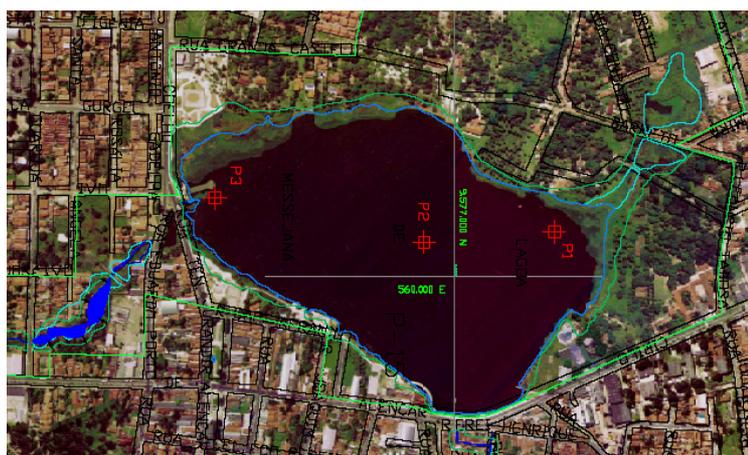


FIGURA 02 – Localização dos pontos de coletas na Lagoa de Messejana.

2.2 - Amostragem

Para a coleta das amostras foram utilizados frascos especiais para cada parâmetro analisado, frascos de polietileno e vidro, previamente tratados.

Coletaram-se amostras de superfície, na profundidade entre 30 a 50 cm. As variáveis Temperatura e Transparência foram mensuradas *in loco*. As amostras foram acondicionadas em caixas isotérmicas (temperatura entre 4° e 10°C) e encaminhadas ao Laboratório Integrado de Águas de Mananciais e Residuárias (LIAMAR/CEFET-CE) para processamento imediato ou adequada preservação.

2.3 - Parâmetros Analisados

As metodologias analíticas e técnicas de preservação das amostras seguiram, de um modo geral, as diretrizes estabelecidas no APHA *et al* (1998), com exceção do nitrato (N-NO₃), cuja metodologia seguiu Rodier (1975) - espectrofotométrico – salicilato de sódio.

A temperatura (T°) foi medida com auxílio de um termômetro com filamento de mercúrio 0° - 60°. O pH foi determinado de forma potenciométrica, turbidez (Tb) pelo método turbidimétrico e condutividade elétrica (CE) pelo método condutivimétrico. Tanto os sólidos suspensos totais (SST) como os sólidos dissolvidos totais (SDT) foram determinados seguindo metodologia de filtração a vácuo com membrana de fibra de vidro 0,45 µm de porosidade e posterior secagem a 103°C – 105°C.

A alcalinidade total (AT) foi estabelecida pelo método titulométrico / potenciométrico. A dureza (DT) foi conforme método titulométrico com EDTA. Já o oxigênio dissolvido (OD) foi determinado pelo método de Winkler, azida modificada seguido de iodometria. A demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) seguiu os frascos padrões com iodometria e a demanda química de oxigênio (DQO) seguiu o método espectrofotométrico com digestão em tubos fechados.

O nitrogênio amoniacal total (N-NH₃) seguiu o método espectrofotométrico com diazotação sulfanilamida – NED, o nitrito (N-NO₂) com o espectrofotométrico com destilação em macrokjeldahl seguida de nesslerização direta. O fósforo total (PT) seguiu o método espectrofotométrico com ácido ascórbico e os coliformes termotolerantes seguiu a metodologia dos tubos múltiplos com meio A1.

2.4 - Análises dos Dados

A análise de componente principal (PCA – do inglês “Principal Component Analysis”) tem como objetivo encontrar um meio de condensar a informação contida em um número de variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas (fatores) com perda mínima de informação (Hair, 2005). Introduzida por Karl Pearson, em 1901, a PCA explica a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório, composto de p-variáveis aleatórias, através da construção de combinações lineares das variáveis originais, chamadas componentes principais e são não correlacionadas entre si (Mingoti, 2005)

As análises foram determinadas com o auxílio dos programas *Bioestat versão 5.0* e *The Unscrambler versão 7.5*, tanto para o PCA como para a análise de correlação linear entre os pares

de variáveis. Antes dos dados serem processados, foi realizada uma padronização dos dados - devido às diferentes escalas - uma vez que as dimensões usadas para computar distância entre objetos devem ser de magnitudes semelhantes.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

As técnicas de análises multivariadas auxiliaram, de forma muito satisfatória, na redução do montante de informações e nas interpretações dos dados. Sendo assim, facilitou nas inferências sobre a situação dos três pontos amostrados na lagoa de Messejana, como podemos visualizar a seguir.

3.1 – Entrada da Lagoa Seca (Ponto 01)

A matriz de correlação permitiu identificar a associação entre as variáveis estudadas, mostrando uma visão geral dos dados, como também apontando as variáveis de maior significância para o estudo. A correlação entre as 16 variáveis utilizadas para definir a qualidade de água da lagoa da Messejana, na entrada do seu tributário principal, é mostrada na Tabela 01. Adotando-se um nível de significância de 5%, temos que dos 16 pares de dados entre as variáveis, de acordo com o Coeficiente de Pearson, somente aqueles com correlações, em módulo, iguais ou superiores a $r = 0,50$ são significantes (Triola, 1999).

TABELA 01 – Matriz de Correlação das variáveis significativas, do ponto 01, do modelo de PCA.

	DBO	CTT	NH ₃	NO ₂	NO ₃	PT	SDT	AT	Dur	pH	OD	SST	T°	CE	Tb	DQO
DBO	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CTT	-0.06	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
NH ₃	0.14	-0.41	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
NO ₂	0.13	0.76	-0.33	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
NO ₃	0.30	0.04	-0.00	0.26	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
PT	0.15	0.52	-0.20	0.80	0.39	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
SDT	-0.19	-0.07	-0.15	-0.18	0.45	-0.03	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
AT	0.10	0.68	-0.31	0.47	0.01	0.28	-0.16	1	---	---	---	---	---	---	---	---
Dur	0.04	-0.23	0.04	-0.33	-0.28	-0.42	-0.07	-0.23	1	---	---	---	---	---	---	---
pH	0.08	-0.67	0.61	-0.45	0.02	-0.25	-0.32	-0.17	0.07	1	---	---	---	---	---	---
OD	0.62	-0.27	0.73	0.02	0.15	0.25	-0.16	-0.22	-0.10	0.35	1	---	---	---	---	---
SST	0.13	-0.29	0.54	-0.39	-0.35	-0.05	-0.14	-0.44	0.40	0.26	0.52	1	---	---	---	---
T°	-0.34	-0.36	0.22	-0.10	0.56	0.13	0.62	-0.48	-0.23	0.17	0.09	-0.12	1	---	---	---
CE	0.08	-0.09	0.57	-0.22	0.33	-0.14	-0.11	-0.10	-0.10	0.51	0.20	0.24	0.14	1	---	---
Tb	0.14	-0.35	-0.06	-0.17	-0.16	-0.04	0.06	-0.14	0.72	0.22	0.06	0.38	-0.11	-0.32	1	---
DQO	0.96	-0.02	0.00	0.19	0.25	0.24	-0.20	0.04	-0.06	-0.07	0.58	0.11	-0.34	-0.07	0.07	1

Consideraram-se uma forte correlação entre: DBO₅ e DQO ($r = 0,96$), DBO₅ e OD ($r = 0,62$), NH₃ e CTT ($r = 0,76$), PT e CTT ($r = 0,52$), AT e CTT ($r = 0,68$), pH e CTT ($r = -0,67$), pH e NH₃ ($r = 0,61$), NH₃ e CE ($r = 0,57$), PT e NO₂ ($r = 0,80$), T° e NO₃ ($r = 0,56$), T° e SDT ($r = 0,62$), Dur e Tb ($r = 0,72$), pH e CE ($r = 0,51$), OD e SST ($r = 0,52$) e OD e DQO ($r = 0,58$).

Para o ponto de amostragem localizado na entrada da Lagoa Seca, as correlações positivas entre DBO₅, DQO e OD comprovam o impacto que o ecossistema sofre com os despejos *in natura* de carga orgânica por atividades antrópicas realizadas em sua área de influência. Pois, essa quantidade de matéria orgânica expelida direta e indiretamente no corpo hídrico promove uma depleção de oxigênio afetando principalmente a biota aquática. Já as correlações entre CTT, amônia total (NH₃), fósforo (PT), SDT, alcalinidade total, condutividade elétrica (CE), e pH aumentam a participação antrópica na degradação ambiental do ecossistema, principalmente porque são variáveis que denunciam a presença de esgotos domésticos lançados para a lagoa sem um prévio tratamento adequado, afetando sua balneabilidade e colocando em riscos a população que usufrui da lagoa de Messejana para vários fins.

Com relação à temperatura, SST e turbidez, é uma correlação esperada. Pois o material em suspensão além de alterar a turbidez da água contribui significativamente para a variação da temperatura. Podem ter sido influenciados pelo lixo na bacia de drenagem da lagoa, principalmente nas primeiras chuvas, pelo escoamento superficial onde carreiam todo o material exposto na área de influência para a bacia hidráulica.

Uma etapa seguinte para análise dos dados foi estabelecida a análise de PCA com a finalidade de reduzir o número de variáveis em fatores independentes. Um resultado composto por quatro componentes, que são possíveis de explicação de 73,51% da variância dos dados originais, conforme na Tabela 02.

TABELA 02 – Fatores das variáveis significativas, ponto 01, do modelo PCA.

Variáveis	CP - 01	CP - 02	CP - 03	CP - 04
DBO ₅	0.0483	0.4920	-0.1070	0.1890
Coliformes Termotolerantes	-0.4120	0.0766	-0.0750	-0.1620
Amônia Total	0.3490	0.1860	0.1600	-0.2520
Nitrito	-0.3790	0.2260	0.0283	0.0088
Nitrato	-0.0811	0.1810	0.4500	0.2390
Fósforo Total	-0.2650	0.2810	0.1430	0.1240
Sólidos Dissolvidos Totais	-0.0305	-0.2000	0.3230	0.4270
Alcalinidade Total	-0.3140	0.0983	-0.1340	-0.2310
Dureza Total	0.2030	-0.1260	-0.3570	0.2490
pH	0.3470	0.0771	0.0877	-0.2310
Oxigênio Dissolvido	0.2200	0.4510	0.0850	0.0462
Sólidos Suspensos Totais	0.3210	0.1210	-0.1650	0.0218
Temperatura	0.0933	-0.1390	0.5260	0.2250
Condutividade Elétrica	0.1880	0.1180	0.2550	-0.3930
Turbidez	0.1700	-0.0297	-0.2950	0.4350
DQO	-0.0021	0.4810	-0.1190	0.2300
Autovalores	4.2171	3.0496	2.6472	1.8475
% total da variância	26.36%	19.06%	16.54%	11.55%
% acumulada	26.36%	45.42%	61.96%	73.51%

A primeira componente (CP-01) explica 26,36% da variabilidade dos dados e esta associada como fator de contaminação por atividades antrópica, principalmente pelo lançamento contínuo de despejos domésticos sem tratamento direto no corpo d'água. Isso são fatos pelos pesos maiores nas variáveis CTT (- 0.4120), amônia total (0.3490), nitrito (-0.3790) e pH (0.3470), todas essas

variáveis são indicadoras de contaminação por esgotos domésticos *in natura*. O pH que influencia diretamente nas variações da amônia e, como contaminação por esgotos domésticos de forma diretamente relacionada entre os coliformes e o nitrito.

A segunda componente (CP-02) explica 19,06% da variabilidade dos dados, e essa componente foi associada à carga orgânica que o ecossistema está sujeito, observado pelos pesos obtidos nas variáveis DBO₅ (0,4920), DQO (0,4810) e oxigênio dissolvido (0,4510), mostrando assim o impacto ocasionado ao corpo hídrico pelo aporte de matéria orgânica que provoca uma depleção significativa do oxigênio dissolvido da água, trazendo sérios problemas ambientais.

A terceira componente (CP-03) explica 16,54% da variância dos dados e pode ser denominada componente da temperatura (0,5260), uma vez que as variáveis como SDT (0,3230), e também em menor expressão a dureza total (-0,3570) e nitrato (0,4500), contribuem significativamente na diminuição do calor específico da água, assim estabelecendo uma maior facilidade na variação da temperatura na água do ecossistema e ocasionando sérios problemas de crescimento, reprodução e sobrevivência da biota aquática. Esse fator também pode estar associado à impermeabilização da margem de influência direta da lagoa, calçadão, asfalto e construções, pois contribuem para uma maior variação de temperatura durante o dia.

Por fim temos a quarta componente (CP-04) que explica 11,55% da variabilidade dos dados. Essa componente traduz a importância do material dissolvido no corpo hídrico, principalmente em relação à variação sazonal. Nos ecossistemas aquáticos do nordeste existe uma alta taxa de evaporação da água de seus ecossistemas, devido as altas temperaturas e fortes ventos, contribuindo significativamente, em boa parte do ano, para concentrar ainda mais os sais dissolvidos, refletindo principalmente nas variáveis SDT (0,4270), turbidez (0,4350) e na condutividade elétrica (-0,3930).

3.2 – Centro do Ecossistema (Ponto 02)

Para este ponto a matriz de correlação, mostrada na Tabela 03, entre os pares de dados mostra uma visão geral e a associação entre os dados. Da mesma forma, adotando-se um grau de significância de 5%, dos 16 pares de dados entre as variáveis, conforme o Coeficiente de Pearson, somente aqueles com correlações, em módulo, iguais ou superiores a $r = 0,50$ são significantes (Triola, 1999).

Para os dados amostrados neste ponto há uma forte correlação entre as variáveis: DBO₅ e OD ($r = 0,535$), DBO₅ e DQO ($r = 0,828$), CTT e SDT ($r = 0,634$), CTT e pH ($r = -0,811$), CTT e OD ($r = -0,508$), CTT e SST ($r = -0,540$), PT e AT ($r = 0,562$), SDT e T° ($r = 0,512$), Dur e Tb ($r = 0,646$), pH e CE ($r = 0,601$) e OD e SST ($r = 0,843$).

TABELA 03 – Matriz de Correlação das variáveis significativas, do ponto 02, do modelo de PCA.

	DBO	CTT	NH ₃	NO ₂	NO ₃	PT	SDT	AT	Dur	pH	OD	SST	T°	CE	Tb	DQO
DBO	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CTT	-0.34	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
NH ₃	0.05	0.00	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
NH ₃	0.19	0.10	-0.28	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
NH ₃	0.28	0.47	0.11	0.18	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
PT	-0.08	-0.15	-0.27	0.24	-0.29	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
SDT	0.04	0.63	0.18	-0.16	0.48	-0.32	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
AT	0.20	-0.27	0.13	-0.28	-0.34	0.56	-0.26	1	---	---	---	---	---	---	---	---
Dur	0.10	-0.07	-0.35	-0.15	-0.29	-0.39	-0.10	-0.27	1	---	---	---	---	---	---	---
pH	0.12	-0.81	0.23	-0.31	-0.38	0.17	-0.45	0.41	-0.14	1	---	---	---	---	---	---
OD	0.54	-0.51	-0.18	0.02	-0.12	-0.09	0.03	-0.02	0.02	0.46	1	---	---	---	---	---
SST	0.26	-0.54	-0.21	0.03	-0.39	-0.16	-0.08	-0.03	0.28	0.36	0.84	1	---	---	---	---
T°	-0.38	0.41	0.29	0.08	0.47	-0.27	0.51	-0.33	-0.49	-0.03	-0.13	-0.25	1	---	---	---
CE	0.00	-0.35	0.27	-0.47	0.31	-0.40	0.02	-0.08	-0.23	0.60	0.29	0.11	0.44	1	---	---
Tb	-0.03	-0.44	0.00	-0.09	-0.46	-0.12	-0.19	-0.14	0.65	0.30	-0.04	0.28	-0.21	-0.03	1	---
DQO	0.83	-0.08	0.10	0.31	0.45	0.02	0.16	0.29	-0.30	0.03	0.40	-0.04	0.00	0.04	-0.38	1

A correlação entre as variáveis DBO₅, SST e OD retratam o impacto que o aporte de matéria orgânica atribui ao ecossistema. Más, em função deste ponto está localizado no centro do ecossistema, apresenta uma maior diluição dos compostos e o poder de autodepuração do corpo hídrico consegue amenizar de forma eficiente este aporte, diferentemente o que ocorre com o ponto localizado na entrada do tributário principal. Observa-se também uma forte correlação entre os coliformes e os sólidos (SDT e SST) e os mesmo coliformes e o pH. É um forte indicativo da contaminação por parte de atividades de características domésticas que são desenvolvidas no entorno do ecossistema. Já em relação da correlação entre AT e PT, são fatores de extrema importância, pois como o ponto é afastado das fontes de contaminação a alcalinidade é um indicativo de que está havendo uma decomposição da matéria orgânica, onde esse CO₂ resultante reage com a água e provoca variações em sua concentração. O fósforo também é resultante de degradação de matéria orgânica, pois compostos complexos orgânicos degradam a menores fosfatados e contribuem significativamente ao processo de eutrofização do ecossistema, assim trazendo sérios prejuízos ao recurso hídrico disponível. Outra característica que as variáveis possuem em comum é que elas apresentam como fontes de origem antrópica às atividades industriais que podem contribuir também na modificação da qualidade da água da lagoa de Messejana.

Em relação às variáveis CE, pH, turbidez, dureza e temperatura são indicativos do processo de oxidação da carga orgânica, na qual essa matéria orgânica sofre um processo de mineralização aumentando a concentração dos íons dissolvidos.

Na interpretação das componentes principais dos dados amostrados para este ponto, na Tabela 04, o resultado composto pelas quatro componentes, explica 73,21% da variância das variáveis originais, conforme na Tabela 04.

TABELA 04 – Fatores das variáveis significativas, ponto 02, do modelo de PCA.

Variáveis	CP - 01	CP - 02	CP - 03	CP - 04
DBO ₅	0.1450	0.3570	0.1880	-0.3330
Coliformes Termotolerantes	-0.4550	-0.1380	0.0240	-0.0802
Amônia Total	-0.0814	0.2060	-0.1420	0.3070
Nitrito	-0.0749	-0.0145	0.2880	-0.3160
Nitrato	-0.3470	0.2950	-0.0218	-0.1370
Fósforo Total	0.1030	-0.1040	0.4810	0.1970
Sólidos Dissolvidos Totais	-0.3140	0.1440	-0.1750	-0.1440
Alcalinidade Total	0.1600	0.0825	0.3760	0.3430
Dureza Total	0.1640	-0.3020	-0.2280	-0.3290
pH	0.3650	0.2270	-0.1010	0.3130
Oxigênio Dissolvido	0.2750	0.3420	-0.0663	-0.2620
Sólidos Suspensos Totais	0.3240	0.0941	-0.2100	-0.2980
Temperatura	-0.3080	0.1930	-0.2420	0.1700
Condutividade Elétrica	0.0544	0.3530	-0.3670	0.2410
Turbidez	0.2540	-0.2400	-0.2590	-0.0466
DQO	-0.0231	0.4450	0.2940	-0.1990
Autovalores	3.9693	2.8865	2.5079	2.3504
% total da variância	24.81%	18.04%	15.67%	14.69%
% acumulada	24.81%	42.85%	58.52%	73.21%

A primeira componente (CP-01) explica 24,81% da variabilidade dos dados. Esta componente está associada principalmente com colimetria do ecossistema. Onde a concentração dos coliformes termotolerantes - CTT (-0,4550) como um indicativo de contaminação de origem fecal pode comprometer significativamente os usos de balneabilidade da lagoa. Outro aspecto importante está relacionado aos pesos das variáveis: nitrato (-0,3470), SDT (-0,3140) e pH (0,3650). Elas indicam que acontecem uma oxidação dos compostos contaminantes lançados em decorrer do tempo e poder de diluição no ecossistema.

A segunda componente (CP-02) explica 18,04% da variabilidade dos dados. Ela está intimamente ligada ao aporte de matéria orgânica no ecossistema. Conforme os pesos de DBO₅ (0,3570), DQO (0,4450) e oxigênio dissolvido - OD (0,3420) observa-se que neste ponto de amostragem a influência maior desse aporte esta relacionado com os compostos orgânicos não biodegradáveis. Sendo assim, afirmando o poder de autodepuração do ecossistema.

Em relação a terceira componente (CP-03), ela explica 15,67% da variância dos dados. É a componente de degradação da matéria orgânica aportada pelas atividades da área de entorno do ecossistema. Como mostra o peso para fósforo total (0,4810) que sua maior fonte é a degradação de compostos orgânicos por processos microbiológicos oxidativos, principalmente pelos sais orgânicos que são solúveis em água e influência na variação da condutividade elétrica (-0,3670). A alcalinidade (0,3760) reforça a componente como de degradação do material orgânico pois sua

origem é fundamentalmente em ecossistemas aquáticos dada pela reação do CO₂ com água, que esse CO₂ é oriundo principalmente da decomposição da matéria orgânica.

A quarta componente (CP-04) explicou 14,19% da variabilidade dos resultados dos dados. Representada, principalmente, pelos pesos maiores para DBO₅ (-0,3330), amônia total (0,3070), nitrito (-0,3160), alcalinidade total (0,3430), dureza total (-0,3290) e pH (0,3130). São variáveis que se correlacionam com a contaminação por parte de atividades antrópicas domésticas. Principalmente, amônia total e nitrito, que são indicativos de contaminação recente em corpos hídricos.

A região da lagoa é caracterizada como de grandes números de habitações e estabelecimentos comerciais, um ecossistema literalmente urbano, ocupando uma área de grande influência da sub-bacia.

3.3 – Entrada do Riacho Canaã (Ponto 03)

A matriz de correlação, mostrada na Tabela 05, faz a associação entre os dados. Da mesma forma, adotando-se um grau de significância de 5% e conforme o Coeficiente de Pearson, somente aqueles com correlações, em módulo, iguais ou superiores a $r = 0,50$ são significantes (Triola, 1999).

TABELA 05 – Matriz de Correlação das variáveis significativas, do ponto 03, do modelo de PCA.

	DBO	CTT	NH ₃	NO ₂	NO ₃	PT	SDT	AT	Dur	pH	OD	SST	T°	CE	Tb	DQO
DBO	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
CTT	-0.33	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
NH ₃	0.23	0.36	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
NH ₃	0.14	-0.13	-0.25	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
NH ₃	0.32	0.10	-0.22	-0.17	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
PT	0.25	-0.44	-0.38	0.33	-0.05	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
SDT	0.05	-0.18	-0.13	0.14	0.17	0.28	1	---	---	---	---	---	---	---	---	---
AT	0.12	-0.25	-0.18	-0.27	-0.16	0.29	-0.15	1	---	---	---	---	---	---	---	---
Dur	0.15	-0.09	-0.10	-0.26	-0.04	-0.22	-0.13	-0.21	1	---	---	---	---	---	---	---
pH	-0.01	-0.54	-0.18	-0.57	-0.10	0.40	0.22	0.58	0.05	1	---	---	---	---	---	---
OD	0.58	-0.44	-0.28	-0.01	0.40	0.57	0.26	0.20	-0.05	0.43	1	---	---	---	---	---
SST	-0.23	-0.05	-0.09	-0.59	0.38	-0.08	-0.30	-0.21	0.14	0.33	0.17	1	---	---	---	---
T°	-0.22	0.20	-0.15	0.19	0.39	0.33	0.21	-0.49	-0.30	-0.13	0.14	0.41	1	---	---	---
CE	-0.08	-0.34	-0.02	-0.39	0.24	0.32	0.60	0.01	-0.11	0.60	0.24	0.34	0.38	1	---	---
Tb	-0.01	-0.08	-0.07	-0.13	0.05	-0.17	-0.36	0.22	0.20	0.14	-0.24	0.17	0.05	-0.10	1	---
DQO	0.79	-0.38	-0.13	0.23	0.43	0.60	0.26	0.32	-0.26	0.21	0.84	-0.16	0.09	0.11	-0.09	1

Para os dados amostrados no ponto do sangradouro da lagoa de Messejana têm-se uma correlação significativa entre as seguintes variáveis: DBO₅ e OD ($r = 0,58$), DBO₅ e DQO ($r = 0,79$), CTT e pH ($r = -0,54$), NO₂ e pH ($r = -0,57$), NO₂ e SST ($r = -0,59$), PT e OD ($r = 0,57$), PT e DQO ($r = 0,60$), CE e SDT ($r = 0,60$), AT e pH ($r = 0,58$), pH e CE ($r = 0,60$) e OD e DQO ($r = 0,84$). Novamente temos a relação entre as variáveis DQO, DBO₅ e oxigênio dissolvido. A interatividade entre elas denota uma uniformidade em todo o ecossistema do aporte de compostos

orgânicos, onde existe uma diferenciação na temporalidade e localização, em virtude das atividades realizadas na área de entorno e do poder de diluição e autodepuração destes pelo corpo hídrico.

Também é comum a relação entre os coliformes termotolerantes - nitrito e pH, como também SST – pH e nitrito. Todos esses casos são indicativos de contaminação por atividades domésticas no lançamento de efluentes sem nenhum tratamento adequado no ecossistema aquático ou na bacia de drenagem, ocasionando impactos e prejuízos sanitários e colocando em risco a saúde da população. Como resultante temos a relação entre as variáveis CE, SDT e alcalinidade total, pois são variáveis que tem função dos processos de degradação da matéria orgânica aportada ao longo de todo ecossistema. A correlação positiva entre oxigênio dissolvido OD – DQO e fósforo total tornam-se mais importante para esse ponto. Pois, identifica o possível processo de eutrofização ali presente, ou seja, processo caracterizado pelo desenvolvimento exagerado de algas. O fósforo é o elemento químico indispensável para o crescimento destes organismos fotossintetizantes, responsáveis pelos processos de estabilização da matéria orgânica. Observando, também, a correlação entre condutividade elétrica – CE e SDT têm a influência dos compostos que foram mineralizados ao longo do processo de autodepuração. Então, esse ponto presencia características das zonas de recuperação da matéria orgânica aportada no corpo hídrico.

TABELA 06 – Fatores das variáveis significativas, ponto 03, do modelo de PCA.

Variáveis	CP - 01	CP - 02	CP - 03	CP - 04
DBO ₅	0.2550	0.2530	-0.1560	0.4650
Coliformes Termotolerantes	-0.3190	0.0348	0.2200	0.1260
Amônia Total	-0.1810	0.0273	-0.0419	0.1600
Nitrito	0.0157	0.5280	0.1410	-0.1590
Nitrato	0.1710	-0.0944	0.3210	0.4570
Fósforo Total	0.3810	0.1190	0.0322	-0.2270
Sólidos Dissolvidos Totais	0.2300	0.0614	0.2390	-0.3070
Alcalinidade Total	0.1760	-0.0629	-0.4730	-0.1120
Dureza Total	-0.0848	-0.1530	-0.1720	0.2440
pH	0.2990	-0.3830	-0.2490	-0.1980
Oxigênio Dissolvido	0.4350	0.0359	0.0201	0.2150
Sólidos Suspensos Totais	0.0351	-0.4910	0.1960	0.2270
Temperatura	0.0876	-0.0793	0.5620	-0.0256
Condutividade Elétrica	0.2600	-0.3400	0.2060	-0.2340
Turbidez	-0.0664	-0.1900	-0.1770	0.1860
DQO	0.4190	0.2320	-0.0214	0.2520
Autovalores	4.0015	2.6015	2.3622	1.788
% total da variância	25.01%	16.26%	14.76%	11.17%
% acumulada	25.01%	41.27%	56.03%	67.21%

Tendo como interpretação das componentes principais dos dados amostrados para este ponto, na Tabela 06, o resultado composto pelas quatro componentes, explica 67,21% da variância das variáveis originais, conforme na Tabela 06.

A primeira componente (CP-01) explica 25,01% da variabilidade dos dados. Ela é caracterizada pelo processo de eutrofização por atribuir pesos significativos ao fósforo total (0,3810), oxigênio dissolvido (0,4350) e DQO (0,4190).O processo de eutrofização, como já foi

debatido, é prejudicial à qualidade da água de corpos hídricos, gerando sérios problemas de utilização deste recurso por parte dos usuários.

A segunda componente (CP-02) explica 16,26% da variância dos dados e atribuem características de contaminação de origem doméstica, principalmente pelo peso atribuído ao nitrito (0,5280). Mas também pode ser considerada como contaminação pelo arraste de material margeante a lagoa no escoamento superficial, como temos nos SST (-0,4910).

A terceira componente (CP-03), com 14,76% da variância, é influenciada pela temperatura (0,5620) e alcalinidade total. São variáveis que são alteradas pela autodepuração dos ecossistemas aquáticos. A temperatura pela diminuição do calor específico da água e a alcalinidade total pela reação entre o CO₂, resultante das atividades oxidativas da matéria orgânica com a água.

A quarta componente (CP-04), com 11,17%, retrata mais uma vez, o aporte contínuo de carga orgânica representada pela DBO₅ (0,4650), comprovando a existência dessa contribuição matéria orgânica ao longo de toda lagoa. Como foi observado em todos os três pontos de amostragem do estudo. A CP-04 consegue identificar, também, a eutrofização presente neste ponto. Relacionada ao fósforo (0,4570) mostra a grande importância deste processo nas atividades de monitoramento e controle ambiental dos corpos hídricos.

4 - CONCLUSÕES

O estudo mostrou a facilidade com que as análises multivariadas possibilitam obter informações importantes e norteadoras, a partir de um extenso banco de dados. As análises de correlação linear de Pearson identificaram as variáveis mais relevantes na amostragem e suas interações, facilitando um diagnóstico da situação e até mesmo o grau de contaminação por parte do corpo hídrico. A análise possibilitou a separação em quatro grupos de observações importantes: aporte de Matéria Orgânica, Contaminação Fecal, a Degradação da Matéria Orgânica e o Processo de Eutrofização. As Análises de Componentes Principais – PCA permitiram a seleção de quatro componentes nos três pontos de amostragem.

No ponto de entrada da Lagoa Seca, as quatro componentes, explicaram juntas, 73,51% da variabilidade dos dados. As variações foram definidas por um grupo dos contaminantes por atividade antrópica (esgotos domésticos *in natura*), outro de aporte de carga orgânica, um grupo representado pela temperatura (calor específico da água) e, por fim, o grupo dos compostos dissolvidos (sais dissolvidos e o processo intenso de evaporação).

No ponto central do ecossistema existe uma explicação de 73,21% da variância acumulada pelos quatro componentes. O primeiro grupo definiu contaminação de origem fecal (possíveis problemas na balneabilidade do ecossistema); o segundo, selecionou o aporte de matéria orgânica

(compostos não biodegradáveis). Já o terceiro grupo identificou a degradação dessa matéria orgânica e, o quarto, como sendo dos impactos oriundos das atividades domésticas.

Para o ponto de entrada do Riacho Canaã, há uma explicação de 67,21% da variabilidade dos dados, acumulados nos quatro grupos. O primeiro estabelece o processo de eutrofização (presença fortíssima do fósforo). O segundo grupo foi de contaminação de origem doméstica. O terceiro grupo caracterizou os processos de autodepuração do sistema aquático e, por último, o quarto grupo, que condicionou o aporte contínuo de matéria orgânica em todo ecossistema e sedimentou o processo de eutrofização que ocorre na lagoa.

Assim sendo, o estudo mostrou que o maior problema que afeta a qualidade da água da Lagoa de Messejana, em qualquer ponto analisado, é o aporte de matéria orgânica ao longo de todo o ecossistema, tanto no espaço como no tempo, sendo assim, imprescindíveis atividades de monitoramento e infra-estrutura de saneamento na sua área de influência.

BIBLIOGRAFIA

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. (1998). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20ed. Washington D C: APHA, 1155p
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. (1989). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17ed. Washington D C: APHA, 1587p.
- BRANCO, S. M. - Poluição e usos múltiplos de represas. São Paulo: Edgard Blüncher/ CETESB, 1977.
- COGERH. Plano de Gerenciamento das Águas das Bacias Metropolitanas. Vol. 1.2001
- COSTA, A. F. Introdução à ecologia das águas doces – RECIFE - UFRPE / Imprensa Universitária, 1991.
- DILLON, W.R.; GOLDSTEIN, M. (1984) Multivariate Analysis: Methods and Applications. John Wiley & Sons, Inc. United States of America.
- DISNEY, W.; ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; ALVES, A.B.(2007) “Seleção dos Indicadores da Qualidade das Águas Superficiais pelo Emprego da Análise Multivariada”. Eng. Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.3, set./dez. 683-690.
- HAIR, J.J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L.; BLACK, W.C. Análise multivariada de dados. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

- INVENTÁRIO AMBIENTAL DE FORTALEZA – Diagnóstico versão final. Prefeitura Municipal de Fortaleza – PMF/SEMAM. 2003.
- MINGOTE, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.
- MOTA, S. Preservação e conservação de recursos hídricos. 2 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995. 200p.
- OLIVEIRA, L.; BECKER. H. (2007). “Caracterização limnológica da lagoa do Sal – Planície costeira do município de Beberibe – CE”. Revista de Geologia Vol. 20, nº 1, 21-30.
- RODIER, J. (1975). L’analyse de l’eau: eaux naturelles, eaux residuais, eaux de mer. 5ed. Paris: Dunod, v.1, 629p.
- TRIOLA, M. F. Introdução á Estatística. 7 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1999. 410p.
- TUNDISI, J. G. (2003). Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez – São Carlos (SP): RIMA. 274p.
- VIANA, M. C. Zoneamento ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Cocó no município de Fortaleza. Dissertação (Mestrado). Fortaleza: UFC, 2000.
- ZIMMERMANN. C. M.; GUIMARÃES, O. M.; PERALTA-ZAMORA, P. G. (2008). “Avaliação da qualidade do corpo hídrico do rio Tibagi na região de Ponta Grossa utilizando Análise de Componentes Principais (PCA)”. Quim. Nova, Vol. 31, No. 7, 1727-1732.